

O WEBSIG DO SÉCULO XXI: GEOINFORMAÇÃO, USUÁRIOS E POLÍTICAS PÚBLICAS NO MEIO TÉCNICO-CIENTÍFICO-INFORMACIONAL

Da invenção dos sistemas de informação geográfica à construção de plataformas sociotécnicas para justiça territorial e adaptação climática

Vitor Antonio de Almeida Lacerda; Marcel Fantin.



INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

URBVERDE

FUSP



"Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e a autoria e respeitando a Licença Creative Commons indicada"

O WEBSIG DO SÉCULO XXI: GEOINFORMAÇÃO, USUÁRIOS E POLÍTICAS PÚBLICAS NO MEIO TÉCNICO-CIENTÍFICO-INFORMACIONAL

Da invenção dos Sistemas de Informação Geográfica à construção de plataformas sociotécnicas para justiça territorial e adaptação climática

Autores: Vitor Antonio de Almeida Lacerda; Marcel Fantin.

Universidade de São Paulo - USP
Prof. Dr. Aluísio Augusto Cotrim Segurado - Reitor
Profa. Dra. Liedi Légi Bariani Bernucci - Vice-Reitora

Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU
Prof. Dr. João Marcos de Almeida Lopes (Diretor)
Profa. Dra. Akemi Ino (Vice-Diretora)

FUSP - Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo
Giulio Gavini (Diretor Executivo)
Maria Dolores Montoya Diaz (Diretora Financeira)
Oswaldo Baffa Filho (Diretor Adjunto)

Este livro integra as ações do projeto **"Plataforma UrbVerde Nacional: Inteligência Territorial Multidisciplinar para Suporte a Políticas Públicas de Adaptação Climática Urbana e Redução das Desigualdades"**. Sua elaboração conta com o financiamento da **Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (FUSP)**.

Este projeto apresenta resultados de pesquisas financiadas pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), no âmbito do Programa de Pesquisa em Políticas Públicas (PPPP), processo nº 2023/10076-6, intitulado "UrbVerde: Políticas Públicas para Qualificação Territorial Orientada à Adaptação Climática e Redução das Desigualdades". A iniciativa conta também com apoio da Chamada Universal do CNPq, processo nº 421592/2023-0.

Catalogação na Publicação
Biblioteca do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

W377

O websig do século XXI [recurso eletrônico] : geoinformação, usuários e políticas públicas no meio técnico-científico-informacional. Da invenção dos Sistemas de Informação Geográfica à construção de plataformas sociotécnicas para justiça territorial e adaptação climática / Vitor Antonio de Almeida Lacerda, Marcel Fantin. -- São Carlos: IAU/USP, 2026.
302 p.

ISBN: 9788566624656
DOI: 10.11606/9788566624656

1. WebSIG. 2. Geotecnologias. 3. Mudanças climáticas. I. Lacerda, Vitor Antonio de Almeida. II. Fantin, Marcel.

CDD 711.421

Bibliotecária responsável pela estrutura de catalogação da publicação de acordo com a AACR2: Brianda de Oliveira Ordonho Sígolo - CRB - 8/8229

Nota de agradecimento

A realização deste livro e a consolidação da Plataforma UrbVerde como experiência de pesquisa, extensão, inovação pública e apoio à formulação de políticas territoriais não seriam possíveis sem a colaboração generosa de instituições, equipes técnicas, pesquisadoras e pesquisadores, estudantes, gestores públicos, educadoras e educadores, jornalistas, servidoras e servidores públicos e representantes da sociedade civil que, ao longo dos últimos anos, contribuíram para transformar uma ideia acadêmica em uma infraestrutura pública de inteligência territorial.

Registramos nosso agradecimento especial ao **Instituto Pólis**, parceiro fundamental na construção de pontes entre conhecimento técnico, justiça socioambiental, direito à cidade e políticas públicas. Sua trajetória histórica de atuação crítica, democrática e comprometida com os territórios populares fortaleceu a UrbVerde e ampliou sua capacidade de dialogar com os desafios reais das cidades brasileiras.

Agradecemos também ao **Consórcio Intermunicipal Grande ABC**, cuja abertura institucional, capacidade de articulação regional e compromisso com a agenda climática permitiram transformar a plataforma em instrumento de diálogo com municípios, equipes técnicas, conselhos e gestores públicos. O trabalho desenvolvido no Grande ABC demonstrou que a geoinformação pode contribuir para diagnósticos mais integrados, decisões mais transparentes e políticas territoriais orientadas pela redução das desigualdades.

Nosso reconhecimento se estende à **Prefeitura Municipal de Diadema**, que acolheu a proposta da UrbVerde como instrumento de leitura socioterritorial, planejamento climático e construção de políticas públicas. A experiência com Diadema foi central para compreender, de forma concreta, como dados, mapas, indicadores, escuta institucional e participação social podem se articular na elaboração de diagnósticos, agendas e ações voltadas à adaptação climática e à justiça territorial.

Agradecemos de modo especial à **Escola Estadual Aduar Kemell Dibo**, pela parceria no âmbito do **UrbVerde na Escola**. A participação de sua comunidade escolar foi fundamental para demonstrar que a geoinformação pode ser apropriada por estudantes, professoras, professores e educadores como instrumento de leitura crítica do território, educação climática, cidadania ambiental e construção de propostas para cidades mais justas e sustentáveis.

Agradecemos à **Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo - FUSP**, à **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP** e ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq**, pelo apoio institucional, financeiro e científico que tornou possível o desenvolvimento da Plataforma UrbVerde, a formação de equipes, a produção de dados, a elaboração de materiais e a consolidação desta agenda de pesquisa, extensão e inovação pública.

Registramos também nosso agradecimento à **Universidade de São Paulo - USP**, ao **Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU-USP**, ao **Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP**, à **Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP**, à **Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - FFLCH-USP**, à **Universidade Federal de São Carlos - UFSCar** e

às demais instituições de ensino, pesquisa, extensão e cooperação acadêmica que contribuíram, direta ou indiretamente, para a construção da UrbVerde e para o amadurecimento das ideias desenvolvidas neste livro.

Agradecemos, ainda, à **equipe UrbVerde**, em suas diferentes formações, pelo trabalho coletivo na produção de dados, desenvolvimento tecnológico, design de interfaces, elaboração de indicadores, construção de mapas, testes de usabilidade, oficinas, cartilhas, relatórios, diagnósticos, materiais pedagógicos, comunicação pública e articulação institucional. Cada contribuição ajudou a transformar a plataforma em uma experiência mais robusta, acessível e comprometida com o interesse público.

Nosso reconhecimento se estende às **redes de cooperação científica e técnica**, incluindo a **Rede RUN CYTED**, e aos parceiros nacionais e internacionais que contribuíram para ampliar o horizonte da UrbVerde no campo da ciência cidadã, da regeneração urbana, da adaptação climática, da justiça territorial e da democratização da geoinformação.

Agradecemos também às equipes da **Biblioteca do IAU-USP**, do **Portal de Livros Abertos da USP** e das instâncias editoriais e técnicas envolvidas nos processos de publicação, catalogação, normalização, difusão e acesso aberto das obras vinculadas à UrbVerde. O compromisso com a circulação pública do conhecimento é parte essencial do sentido deste projeto.

Por fim, agradecemos a todas as professoras e professores, estudantes de graduação, pós-graduação e ensino médio, bolsistas, técnicas e técnicos, servidoras e servidores públicos, educadoras e educadores, jornalistas, representantes de conselhos, coletivos, organizações da sociedade civil, comunidades locais e gestoras e gestores públicos que participaram, testaram, criticaram, aprimoraram e apoiaram esta iniciativa. Cada oficina, reunião, aula, apresentação, teste de usabilidade, atividade de campo, reportagem, relatório, cartilha, mapa, sugestão e pergunta ajudou a tornar a UrbVerde uma plataforma mais pública, mais inteligível e mais conectada às necessidades concretas dos territórios.

Este livro é, portanto, resultado de uma construção coletiva. Embora assinado por seus autores, ele expressa um percurso compartilhado de aprendizagem institucional, experimentação tecnológica, compromisso acadêmico e engajamento público. A todas e todos que contribuíram para que a UrbVerde se tornasse uma ferramenta de democratização da geoinformação, de educação territorial e de fortalecimento das políticas públicas urbanas e climáticas, deixamos nosso mais sincero agradecimento.

Sobre o autor - Vitor Antonio de Almeida Lacerda

Vitor Antonio de Almeida Lacerda é graduando em Sistemas de Informação pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo - ICMC/USP. Possui formação técnica em Informática para a Internet pela Escola Técnica Estadual Rodolpho José Del Guerra e cursou Engenharia Ambiental na Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP, trajetória que contribuiu para sua atuação interdisciplinar entre computação, território, meio ambiente e tecnologias digitais aplicadas ao planejamento urbano.

Atua principalmente nas áreas de **Interação Humano-Computador**, **User Experience Design**, **Sistemas de Informação Geográfica**, **desenvolvimento web** e **gerenciamento de produtos digitais**. Sua formação combina fundamentos da Ciência da Computação, experiência em design de interfaces, prototipação, pesquisa com usuários, desenvolvimento front-end e aplicação de metodologias centradas no usuário, como Design Thinking, testes de usabilidade e prototipação em Figma.

Na Plataforma **UrbVerde**, Vitor desempenha papel central na evolução tecnológica, comunicacional e metodológica do projeto. Como bolsista de Treinamento Técnico II da FAPESP no Programa de Pesquisa em Políticas Públicas, atua na gestão de tecnologia da plataforma, no desenvolvimento da nova interface, na arquitetura front-end, na melhoria da experiência dos usuários e na construção de soluções voltadas a gestores públicos, jornalistas, pesquisadores, estudantes e sociedade civil.

Sua pesquisa de conclusão de curso, intitulada **"Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador"**, constitui uma das bases deste livro. Nela, Vitor analisa como os princípios de IHC, UX Design e desenvolvimento web podem contribuir para superar a barreira técnico-científica dos SIG, aproximando plataformas geoespaciais de públicos não especializados e fortalecendo a democratização da informação territorial.

Ao longo de sua trajetória, participou de projetos de iniciação científica, extensão universitária, desenvolvimento tecnológico e inovação ligados à UrbVerde, com atuação em protótipos de baixa, média e alta fidelidade, painéis de políticas públicas, plataforma nacional, testes de usabilidade e processos de desenvolvimento de um **SIG Social**. Também possui experiência profissional em Product Design, Product Management e gestão de projetos, tendo atuado em empresas e iniciativas ligadas à tecnologia, design e inovação.

Sua atuação foi reconhecida por prêmios e distinções concedidos por instituições como a Universidade de São Paulo, a Sociedade Brasileira de Computação, o Instituto de Arquitetos do Brasil, o Google e o Ministério das Cidades, especialmente em projetos relacionados a impacto social, justiça climática, design, inovação e tecnologias públicas. Neste livro, sua contribuição expressa a passagem de uma visão técnica dos SIG para uma concepção mais ampla de WebSIG: social, público, crítico, acessível e orientado à inteligência territorial.

Sobre o autor - Marcel Fantin

Marcel Fantin é professor doutor do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, onde atua nos cursos de graduação e no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. É bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - PQ-2 - e integra os grupos de pesquisa LEAUC e YBY. Sua trajetória acadêmica articula planejamento urbano e regional, direito ambiental, geociências, políticas públicas, conflitos socioterritoriais, tecnologia e produção do espaço.

Possui formação interdisciplinar: é graduado em Direito pela Universidade do Vale do Paraíba, especialista em Direito Ambiental pela USP, mestre em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade do Vale do Paraíba e doutor em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas, com estágio doutoral na Université Laval, no Canadá. Também possui formação técnica em Cartografia, dimensão que marca sua aproximação com o campo da geoinformação, do planejamento territorial e da leitura espacial das desigualdades.

Sua atuação profissional e acadêmica inclui projetos de planejamento urbano, ambiental e regional, planos diretores, diagnósticos socioeconômicos e ambientais, estudos sobre mineração, conflitos ambientais, desenvolvimento regional e políticas territoriais. Foi professor visitante na Universidad Nacional de General Sarmiento, na Argentina, em 2022, pelo programa PRINT CAPES USP, no âmbito de rede internacional de investigação sobre trabalho e território no Cone Sul. Também participa da rede ibero-americana RUN CYTED, dedicada à ciência cidadã, cocriação, regeneração de rios urbanos e minimização de riscos.

Atualmente, coordena o projeto **UrbVerde: Políticas Públicas para Qualificação Territorial Orientada à Adaptação Climática e Redução das Desigualdades**, financiado pelo Programa de Pesquisa em Políticas Públicas da FAPESP e pela Chamada Universal do CNPq. À frente da Plataforma UrbVerde, vem consolidando uma agenda de pesquisa, extensão e inovação pública voltada à democratização da geoinformação, ao uso de WebSIGs, à adaptação climática, à justiça socioambiental e ao fortalecimento de políticas públicas territoriais.

No âmbito da UrbVerde, Marcel Fantin tem atuado na articulação entre universidade, gestores públicos, escolas, pesquisadores, imprensa e sociedade civil, buscando transformar dados socioambientais em instrumentos de leitura crítica do território, diagnóstico, planejamento e monitoramento de políticas públicas. A plataforma expressa uma de suas principais frentes de trabalho: aproximar ciência, tecnologia e ação pública para enfrentar desigualdades urbanas e climáticas.

A relevância dessa trajetória foi reconhecida institucionalmente. Em 2024, a UrbVerde recebeu o **1º lugar no Prêmio USP de Impacto Social**, na categoria **Cidades e Comunidades Sustentáveis**, sob coordenação de Marcel Fantin, com o projeto **"UrbVerde: Monitoramento e Capacitação em Sustentabilidade Urbana no Estado de São Paulo para Fortalecimento de Políticas Públicas e Educação Ambiental"**.

Além dessa premiação, a Plataforma UrbVerde também tem sido reconhecida em diferentes espaços de inovação, extensão, justiça climática e políticas públicas, reforçando seu papel como tecnologia pública voltada à inteligência territorial, à educação ambiental e à redução das desigualdades socioambientais.

Nesse percurso, Marcel Fantin combina sua formação em planejamento, direito ambiental, geociências e cartografia com uma agenda contemporânea de WebSIG social, público e crítico.

Como autor deste livro, Marcel Fantin parte dessa experiência para propor uma leitura ampliada dos Sistemas de Informação Geográfica no século XXI. Sua contribuição está em compreender o WebSIG não apenas como ferramenta técnica, mas como infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial, capaz de articular dados, métodos, interfaces, usuários, instituições, políticas públicas e justiça territorial.

Sumário

Nota de agradecimento 4

Apresentação 17

Sobre a capa: inspiração e significado 20

Introdução: o WebSIG do século XXI como infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial 22

Parte I - A invenção dos SIG: quando o território excedeu a capacidade humana de processamento ... 32

Capítulo 1 - O nascimento do SIG moderno: Canadá, computadores e planejamento territorial 37

1.1. O território como problema de Estado 37

1.2. O Canada Land Inventory e a classificação do espaço 39

1.3. Roger Tomlinson e a criação do SIG operacional 39

1.4. *Data for Decision* como documento histórico 41

1.5. A passagem do mapa em papel ao dado espacial digital 41

1.6. O SIG como tecnologia de síntese 42

1.7. A impossibilidade humana de processar grandes massas de informação territorial 44

1.8. A dimensão política da classificação territorial 45

1.9. Do SIG moderno ao WebSIG do século XXI 46

1.10. Considerações finais 47

Capítulo 2 - Do mapa ao sistema: a mudança ontológica da cartografia 49

2.1. Cartografia analógica e cartografia digital 49

2.2. A representação do espaço como dado 50

2.3. Raster, vetor, atributos e bancos de dados 52

2.4. Sobreposição de camadas e análise espacial 53

2.5. O mapa como interface e não apenas como produto 55

2.6. A mudança ontológica da cartografia 56

2.7. O risco da reificação geográfica 57

2.8. Do sistema cartográfico ao sistema de conhecimento territorial 58

2.9. Considerações finais 59

Parte II - Epistemologia da geoinformação: que espaço cabe dentro de um SIG? 61

Capítulo 3 - Representações computacionais do espaço: da unidade-área aos processos sociais 66

3.1. A necessidade de fundamentos conceituais para a Ciência da Geoinformação 67

3.2. Geografia idiográfica: unidade-área, polígonos e atributos 68

3.3. Geografia quantitativa: superfícies, redes, estatística espacial e modelos 70

3.4. Geografia crítica: objetos, ações, fluxos, lugares e relações sociais 71

3.5. Os limites do SIG cartográfico 73

3.6. A necessidade de novas representações para processos dinâmicos e sociais 75

3.7. Do espaço representado ao espaço interpretado 76

3.8. Considerações finais 77

Capítulo 4 - O SIG do futuro segundo Câmara, Monteiro e Medeiros 79

4.1. Os SIG atuais como sistemas ainda cartográficos 79

4.2. O espaço como sistema de objetos e sistema de ações 80

4.3. Espaço de fluxos e espaço de lugares 82

4.4. Limites da representação computacional 83

4.5. Ontologias, modelos dinâmicos e representação do conhecimento 85

4.6. O SIG do futuro como construção, não como produto acabado 86

4.7. Do SIG do futuro ao WebSIG social 87

4.8. Considerações finais 88

Parte III - Do SIG de especialista ao SIG popular: computadores pessoais, internet e geoweb 91

Capítulo 5 - O SIG no meio técnico-científico-informacional 96

5.1. Mainframes e processamento centralizado 96

5.2. Microinformática e estações gráficas 97

5.3. SIG desktop e profissionalização do geoprocessamento 99

5.4. Internet, webmapping e serviços geográficos 100

5.5. Da web cartográfica à geoweb 101

5.6. Computação em nuvem e processamento planetário 103

5.7. Dados massivos, sensoriamento remoto e inteligência territorial 104

5.8. O SIG como produto e produtor do meio técnico-científico-informacional 105

5.9. Da capacidade técnica à apropriação social 106

5.10. Considerações finais 107

Capítulo 6 - O pioneirismo brasileiro: INPE, SITIM/SGI, SPRING, TerraLib, TerraView e TerraBrasilis 109

6.1. A formação da geoinformação no Brasil 110

6.2. O papel do INPE e da Divisão de Processamento de Imagens 111

6.3. SITIM/SGI e os primeiros ambientes nacionais 112

6.4. SPRING: um marco brasileiro de integração 113

6.5. SPRING, soberania tecnológica e difusão do conhecimento 114

6.6. TerraLib: biblioteca aberta para aplicações geográficas 115

6.7. TerraView: SIG livre para visualização e análise 116

6.8. TerraBrasilis: da ferramenta SIG à plataforma web pública 117

6.9. Uma linhagem brasileira de geoinformação 118

6.10. Soberania informacional, ciência aberta e políticas públicas 119

6.11. Considerações finais 120

Capítulo 7 - Google Earth, Google Maps e a popularização da informação espacial 122

7.1. A emergência da geoweb 123

7.2. Google Maps, APIs e mapas incorporados à web 124

7.3. Google Earth e a visualização planetária 126

7.4. A familiarização social com imagens de satélite 127

7.5. Limites das plataformas comerciais: visualização sem análise crítica 128

7.6. Da navegação cotidiana à inteligência territorial pública 130

7.7. A geoweb, a VGI e o usuário como produtor de informação 131

7.8. A virada cultural e seus efeitos na educação territorial 132

7.9. Entre consumo espacial e cidadania territorial 133

7.10. Considerações finais 134

Parte IV - O WebSIG do século XXI: da plataforma estática à infraestrutura sociotécnica 136

Capítulo 8 - Do WebSIG estático ao WebSIG dinâmico 141

8.1. O WebSIG como nova etapa da geoinformação 142

8.2. Primeira geração: mapas-imagem e baixa interatividade 142

8.3. Do servidor que desenha ao cliente que interage 144

8.4. Interatividade: zoom, pan, camadas, consulta e comparação 145

8.5. Raster, vetor, bancos espaciais e camadas dinâmicas 146

8.6. Renderização vetorial no navegador e novas bibliotecas cartográficas 148

8.7. Computação em nuvem, atualização e escalabilidade 149

8.8. Do dinamismo técnico ao dinamismo interpretativo 150

8.9. WebSIG dinâmico e políticas públicas 151

8.10. O risco do dinamismo superficial 152

8.11. Da plataforma cartográfica à infraestrutura sociotécnica 153

8.12. Considerações finais 154

Capítulo 9 - A barreira técnico-científica e a pirâmide especialista-usuário 156

9.1. Do acesso à apropriação 157

9.2. A pirâmide especialista-usuário 158

9.3. As camadas da barreira técnico-científica 159

9.4. Linguagem, indicadores e opacidade 161

9.5. Interação Humano-Computador como ponte 163

9.6. Design Thinking, Double Diamond e escuta do usuário 164

9.7. Perfis de usuários e demandas distintas 165

9.8. A falsa democratização: quando publicar não basta 168

9.9. UrbVerde: barreira técnica, reestruturação e aprendizado 170

9.10. Reduzir a barreira sem banalizar o conhecimento 171

9.11. Considerações finais 172

Capítulo 10 - Engenharia estrutural do WebSIG do século XXI 174

10.1. Da ferramenta cartográfica à infraestrutura sociotécnica 176

10.2. Camada de dados: fontes, qualidade, metadados e versionamento 176

10.3. Camada de processamento: scripts, nuvem, modelos e automação 179

10.4. Camada de banco: SGBD espacial, geometrias, atributos e índices 181

10.5. Camada de serviços: APIs, padrões, tiles e downloads 183

10.6. Camada de interface: mapas, painéis, gráficos, filtros e narrativas 185

10.7. Camada de interpretação: indicadores, textos explicativos e recomendações 186

10.8. Camada institucional: manutenção, governança, equipe e financiamento 187

10.9. Camada política: conexão com planos, metas, ações e monitoramento 188

10.10. A experiência UrbVerde como engenharia integrada 189

10.11. Riscos da engenharia sem política 190

10.12. Considerações finais 192

Parte V - A UrbVerde como laboratório do WebSIG do século XXI 195

Capítulo 11 - O WebSIG social: geografia crítica, justiça territorial e políticas públicas 201

11.1. O que significa falar em WebSIG social? 202

11.2. Geografia crítica e representação computacional do espaço 203

11.3. Justiça territorial e desigualdade socioambiental 204

11.4. Clima urbano, vulnerabilidade e adaptação 205

11.5. O WebSIG como instrumento de política pública 208

11.6. Indicadores como mediações políticas 210

11.7. Participação social, ciência cidadã e conhecimento local 212

11.8. Educação territorial e democratização da geoinformação 214

11.9. A UrbVerde como experiência de WebSIG social 216

11.10. Riscos do WebSIG social 217

11.11. Princípios para um WebSIG social 219

11.12. Considerações finais 220

Capítulo 12 - A UrbVerde como laboratório do WebSIG do século XXI: do dado ao plano, do plano ao monitoramento 223

12.1. Origem e sentido público da UrbVerde 224

12.2. A plataforma como infraestrutura de inteligência territorial 225

12.3. Escalas, categorias e indicadores 226

12.4. Do sensoriamento remoto à leitura pública do território 229

12.5. A dimensão educativa: UrbVerde na Escola 230

12.6. Do mapa à ação: a UrbVerde e os Planos Locais de Ação Climática 231

12.7. Diadema e Grande ABC: o laboratório aplicado 233

12.8. A cadeia de valor pública: dado, diagnóstico, plano e monitoramento 236

12.9. Tradução, acessibilidade e institucionalização 237

12.10. A UrbVerde como tecnologia social 238

12.11. Limites e desafios da UrbVerde 240

12.12. Lições para o WebSIG do século XXI 242

12.13. Considerações finais 243

Capítulo 13 - Lições da UrbVerde para o WebSIG do século XXI: princípios, limites e agenda de desenvolvimento 245

13.1. Primeira lição: o WebSIG deve partir de problemas públicos, não apenas de dados 246

13.2. Segunda lição: a cadeia "dado–diagnóstico–plano–monitoramento" deve estruturar a plataforma 247

13.3. Terceira lição: interface é parte da metodologia 248

13.4. Quarta lição: democratizar não é simplificar de modo empobrecedor 249

13.5. Quinta lição: o WebSIG deve ser educativo 252

13.6. Sexta lição: governança e institucionalização são tão importantes quanto tecnologia 253

13.7. Sétima lição: dados abertos precisam de mediação pública 254

13.8. Oitava lição: o WebSIG deve apoiar o ciclo completo das políticas públicas 256

13.9. Nona lição: justiça socioambiental deve orientar a arquitetura do sistema 256

13.10. Décima lição: o WebSIG precisa reconhecer seus próprios limites 258

13.11. Da UrbVerde a uma agenda para o WebSIG do século XXI 260

13.12. Considerações finais 261

Capítulo 14 - Conclusão: o WebSIG do século XXI como tecnologia pública de inteligência territorial 263

14.1. Do mapa ao sistema, do sistema à infraestrutura 264

14.2. O espaço não cabe inteiro em um SIG 265

14.3. O WebSIG como mediação entre ciência, sociedade e política 267

14.4. A UrbVerde como síntese e experiência em construção 268

14.5. A justiça territorial como horizonte 269

14.6. Princípios para o WebSIG do século XXI 270

14.7. O WebSIG não substitui a política 271

14.8. O futuro do WebSIG: inteligência artificial, dados massivos e responsabilidade pública 272

14.9. Considerações finais 273

Capítulo 15 - Agenda para o WebSIG do século XXI: princípios, riscos e caminhos de pesquisa..... 276

15.1. Primeira tese: o WebSIG do século XXI deve começar pelas perguntas públicas..... 277

15.2. Segunda tese: o WebSIG deve assumir sua teoria do espaço..... 278

15.3. Terceira tese: a interface é uma tecnologia de tradução..... 279

15.4. Quarta tese: dados abertos não bastam sem mediação pública..... 280

15.5. Quinta tese: o WebSIG deve operar como infraestrutura de políticas públicas..... 282

15.6. Sexta tese: a justiça territorial deve orientar a arquitetura da plataforma..... 282

15.7. Sétima tese: o WebSIG precisa incorporar conhecimento local e participação..... 283

15.8. Oitava tese: o WebSIG deve ser sustentável institucionalmente..... 284

15.9. Nona tese: inteligência artificial e automação exigem responsabilidade pública..... 285

15.10. Décima tese: o WebSIG deve ser uma tecnologia de esperança pública..... 287

15.11. Uma agenda de pesquisa para os próximos anos..... 288

15.12. Considerações finais..... 290

Conclusão: Por um WebSIG social, público e crítico..... 292

1. Do mapa como produto ao mapa como mediação..... 292

2. O espaço não cabe inteiro no sistema..... 293

3. Da democratização do acesso à democratização da interpretação..... 294

4. O WebSIG social como tecnologia pública..... 295

5. A UrbVerde como síntese em construção..... 296

6. Princípios para um WebSIG social, público e crítico..... 297

7. O WebSIG não substitui a política..... 299

8. Por uma inteligência territorial democrática..... 299

9. Considerações finais..... 300

Apresentação

Este livro nasce de uma pergunta simples e ao mesmo tempo fundamental: **o que deve ser um WebSIG no século XXI?** A resposta, porém, exige ir além da dimensão técnica dos Sistemas de Informação Geográfica. Exige compreender o SIG como parte da história das relações entre ciência, tecnologia, Estado, sociedade e território. Desde suas origens, nos anos 1960, os SIG foram concebidos para enfrentar um problema público: organizar grandes volumes de informações espaciais e transformá-los em conhecimento útil à decisão territorial (TOMLINSON, 1968; MILLAR, 1968) (figura 1).

Figura 1 - Do SIG ao WebSIG social: linha evolutiva curta



Ao longo das décadas seguintes, os SIG acompanharam a evolução do meio técnico-científico-informacional, passando dos grandes computadores aos computadores pessoais, dos softwares especializados às plataformas web, dos mapas estáticos aos painéis interativos e da cartografia digital à inteligência territorial em rede. Essa trajetória ampliou enormemente a capacidade de produzir, cruzar e visualizar dados espaciais, mas não eliminou uma questão fundamental: **quem consegue compreender e utilizar criticamente essas informações?** A democratização da geoinformação não se realiza apenas pela publicação de mapas na internet. Ela depende da capacidade de tornar dados espaciais inteligíveis, navegáveis, comparáveis e socialmente apropriáveis. A experiência analisada por Vitor Lacerda mostra justamente que a Interação Humano-Computador, a usabilidade, a linguagem simples, o Design Thinking e o Double Diamond podem contribuir para reduzir a barreira técnico-científica que historicamente restringiu o uso dos SIG a especialistas, tomando a UrbVerde como caso concreto dessa transformação (LACERDA, 2025) (quadro 1).

Quadro 1 - O que este livro defende

Tese	Síntese	Sentido
1. O WebSIG do século XXI não é apenas um mapa na internet.	Ele deve ser entendido como uma **infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial**.	O livro desloca o WebSIG da simples visualização cartográfica para um sistema que articula dados, métodos, usuários, instituições e políticas públicas.
2. Todo SIG carrega uma teoria do espaço.	As formas de representar o território - pontos, linhas, polígonos, grades, redes e indicadores - definem o que pode ser visto, medido e interpretado.	O leitor é convidado a perceber que mapas e sistemas não são neutros: eles selecionam, organizam e limitam a leitura do território.
3. Democratizar a geoinformação não é apenas abrir dados.	É preciso transformar dados técnicos em informações compreensíveis, navegáveis e socialmente apropriáveis.	O acesso só se torna democrático quando gestores, professores, estudantes, jornalistas e cidadãos conseguem interpretar e usar os dados.
4. O WebSIG precisa ser social, público e crítico.	Sua finalidade deve ser revelar desigualdades, apoiar políticas públicas e fortalecer a justiça territorial.	O livro defende um WebSIG orientado à ação pública, à adaptação climática, à redução de desigualdades e ao direito à informação territorial.
5. A UrbVerde é um laboratório dessa nova geração de WebSIG.	A plataforma mostra como dados socioambientais podem se transformar em diagnóstico, plano, ação e monitoramento.	A experiência da UrbVerde demonstra que o WebSIG do século XXI deve conectar ciência, tecnologia, educação territorial e políticas públicas.

Síntese: este livro defende que o WebSIG do século XXI deve deixar de ser apenas uma plataforma de mapas para se tornar uma tecnologia pública de leitura crítica e transformação democrática do território.

Este livro também parte de uma inquietação epistemológica. Câmara, Monteiro e Medeiros (2003) alertam que os computadores não são instrumentos neutros, mas formas de representação da realidade. As estruturas de dados, os algoritmos, os modelos e as interfaces condicionam aquilo que pode ser visto, analisado e interpretado. Por isso, toda representação computacional do espaço carrega escolhas teóricas e políticas. O risco, como indicam os autores, é transformar a representação em realidade e esquecer os limites dos próprios instrumentos de geoinformação.

Nesse sentido, defendemos que o WebSIG do século XXI precisa ser um **SIG social**. Isso significa reconhecer que o espaço não é apenas uma superfície a ser mapeada, mas uma totalidade produzida por objetos, ações, fluxos, lugares, desigualdades, conflitos, normas, infraestruturas e políticas públicas. Inspirado pela Geografia Crítica e pelo pensamento de Milton Santos, este livro propõe compreender o WebSIG como uma infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial, capaz de articular dados, usuários, instituições e ação pública (SANTOS, 1996; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

A UrbVerde ocupa lugar central nesta reflexão porque permite observar, em uma experiência concreta, os desafios de construção de um WebSIG voltado à adaptação climática, à redução das desigualdades territoriais e ao apoio a políticas públicas. Sua trajetória mostra que produzir dados é apenas parte do problema. É preciso construir interfaces compreensíveis, indicadores bem explicados, metodologias transparentes, arquitetura de informação adequada, governança institucional e formas de conexão entre diagnóstico territorial e ação pública.

Este livro, portanto, não é apenas uma história dos SIG, nem um manual técnico sobre plataformas digitais. Ele é uma proposta de leitura crítica e prospectiva sobre a próxima geração da geoinformação. Seu objetivo é pensar o WebSIG do século XXI como tecnologia pública de interpretação, mediação e transformação do território. Em um mundo marcado por crise climática, desigualdades urbanas e disputas crescentes pelo uso do espaço, compreender o território tornou-se uma condição fundamental da cidadania. Fazer do WebSIG uma ferramenta social, crítica e democrática é o horizonte que orienta as páginas que seguem.

Referências bibliográficas

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

MILLAR, David. **Data for Decision**. Direção: David Millar. Produção: Sidney Goldsmith. Montreal: National Film Board of Canada, 1968. 1 filme documentário, 22 min.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

TOMLINSON, Roger F. **A Geographic Information System for Regional Planning**. Ottawa: Department of Forestry and Rural Development, Government of Canada, 1968.

Sobre a capa: inspiração e significado

A capa deste livro foi concebida como uma representação visual do **WebSIG do século XXI**: uma infraestrutura em construção, situada entre território, técnica, ciência, informação, política pública e imaginação social. Ela não busca ilustrar literalmente um mapa, uma cidade ou uma plataforma digital. Seu propósito é mais ambicioso: traduzir graficamente a passagem do mapa como representação estática para o mapa como sistema vivo de relações, fluxos, dados, ações e interpretações.

A inspiração central parte do conceito de **meio técnico-científico-informacional**, de Milton Santos. A capa procura sugerir um território atravessado por redes, sinais, camadas, conexões, sensores, infraestruturas, fluxos e sistemas de informação. O espaço aparece como algo simultaneamente material e informacional: cidade, técnica, natureza, dados e sociedade se interpenetram. As linhas, formas e sobreposições remetem à ideia de que o território contemporâneo não pode mais ser compreendido apenas como superfície, mas como campo de relações mediadas por objetos técnicos, ações humanas, instituições, algoritmos e políticas públicas (figura 2).

Figura 2 - Imagem conceitual com detalhe ampliado da capa: redes, cidade e camadas



A referência estética a **Xul Solar** aparece na construção de uma paisagem imaginária, simbólica e futurista. Assim como em suas obras, a capa mobiliza uma linguagem visual que não separa completamente cidade, cosmos, signo, arquitetura, espiritualidade, técnica e abstração. Há nela uma

dimensão de invenção: o WebSIG do século XXI ainda não está plenamente dado; ele é uma possibilidade em construção. Por isso, a imagem não representa apenas o que já existe, mas aquilo que pode vir a existir: uma tecnologia pública, social e crítica de leitura do território.

As formas geométricas e os planos sobrepostos evocam as camadas de um SIG: vegetação, temperatura, hidrografia, vulnerabilidade, infraestrutura, limites territoriais, redes urbanas e indicadores socioambientais. Mas, ao mesmo tempo, a composição evita a rigidez técnica de um mapa convencional. Isso é importante porque o livro defende que o WebSIG não deve ser reduzido à visualização cartográfica. Ele deve ser entendido como uma **infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial**, capaz de articular dados, métodos, usuários, instituições, políticas públicas e processos sociais.

A capa também expressa a tensão entre **ordem e movimento**. Há uma estrutura técnica - redes, grades, camadas, conexões -, mas há também dinamismo, fluxo e abertura. Essa tensão sintetiza uma das ideias centrais do livro: o território não é apenas um conjunto de objetos localizados no espaço; ele é produzido por ações, usos, conflitos, desigualdades, políticas e temporalidades. O WebSIG do século XXI precisa, portanto, representar objetos, mas também ajudar a interpretar processos.

As cores e formas sugerem ainda a articulação entre natureza e cidade. A presença de tons orgânicos e digitais indica que a questão ambiental urbana não pode ser separada das tecnologias de informação. A crise climática, as ilhas de calor, a desigualdade no acesso à vegetação, a impermeabilização do solo e a ausência de espaços públicos exigem novas formas de leitura territorial. A capa, nesse sentido, simboliza a tentativa de transformar dados ambientais em conhecimento público e ação coletiva.

Por fim, a ausência de letras e números na imagem reforça sua condição de síntese visual. Antes do título, antes dos conceitos e antes das categorias analíticas, a capa apresenta uma intuição: o território contemporâneo é uma trama. Uma trama de objetos, ações, dados, redes, desigualdades e possibilidades. O livro nasce justamente dessa intuição e a desenvolve teoricamente: o WebSIG do século XXI deve ser social, público e crítico, não apenas uma ferramenta de visualização, mas uma tecnologia democrática de compreensão e transformação do espaço.

Introdução: o WebSIG do século XXI como infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial

A história dos Sistemas de Informação Geográfica pode ser lida como parte de uma transformação mais ampla das formas pelas quais as sociedades modernas passaram a conhecer, representar, administrar e disputar o território. Desde a segunda metade do século XX, o espaço geográfico deixou de ser apenas descrito por mapas, relatórios, levantamentos de campo e cadastros analógicos, passando a ser progressivamente convertido em dados, camadas, matrizes, vetores, atributos, modelos, algoritmos, bancos de dados e interfaces digitais.

Essa transformação não é apenas técnica. Ela expressa a constituição do que Milton Santos denominou **meio técnico-científico-informacional**, etapa histórica na qual ciência, técnica e informação passam a organizar de maneira cada vez mais intensa a produção do espaço, as relações sociais, os sistemas urbanos, as redes, os fluxos e as formas de ação sobre o território (SANTOS, 1996) (figura 3).

Figura 3 - Meio técnico-científico-informacional e WebSIG: ciência, técnica, informação, território, usuários e políticas públicas



Nesse contexto, os Sistemas de Informação Geográfica - SIG - não podem ser compreendidos apenas como ferramentas computacionais destinadas à produção de mapas. Eles constituem uma forma específica de mediação entre território, conhecimento e decisão. Ao associar localização geográfica e atributos descritivos, os SIG transformaram as possibilidades de armazenamento, consulta, cruzamento, análise e visualização de informações espaciais.

Como sintetizam Câmara, Davis e Monteiro (2001), a especificidade dos SIG está em tratar computacionalmente dados geográficos, recuperando informações não apenas por seus atributos alfanuméricos, mas também por sua posição no espaço. Essa característica alterou profundamente a relação entre cartografia, planejamento, gestão pública, ciência ambiental, análise urbana e políticas territoriais.

A origem moderna dos SIG está fortemente associada à experiência canadense dos anos 1960. O documentário *Data for Decision*, produzido pelo National Film Board of Canada, apresenta o Canada Land Inventory Geo-information System como um sistema computacional voltado a apoiar a gestão e o desenvolvimento das terras canadenses. O filme, dirigido por David Millar e produzido por Sidney Goldsmith em 1968, retrata um momento inaugural da computação aplicada à organização de grandes volumes de informação territorial (MILLAR, 1968).

A própria descrição do documentário enfatiza a dificuldade de lidar manualmente com a massa de dados sobre solos, florestas, madeira, vida silvestre, recursos e sítios industriais, indicando que a emergência do SIG esteve ligada desde o início à necessidade de converter informação territorial dispersa em conhecimento organizado para a decisão pública.

Essa experiência também se relaciona diretamente ao trabalho de Roger Tomlinson, reconhecido como figura central na criação do primeiro SIG operacional moderno. Entre 1962 e 1968, no âmbito do Canadian Department of Forestry and Rural Development, Tomlinson desenvolveu um sistema capaz de coletar, digitalizar, armazenar, analisar e visualizar informações do Canada Land Inventory (TOMLINSON, 1968).

Esse marco é importante porque assinala a passagem da cartografia como produto final para a geoinformação como sistema analítico. O mapa deixa de ser apenas representação gráfica do território e passa a integrar uma infraestrutura de dados, cálculos, classificações, cruzamentos, consultas e modelos.

Essa origem é fundamental para a tese deste livro. O SIG nasce como resposta a uma impossibilidade prática: a quantidade de informações territoriais disponíveis já não podia ser processada e interpretada apenas por procedimentos manuais. Era necessário construir uma nova engenharia técnica e institucional capaz de organizar dados dispersos, associá-los a localizações, produzir cruzamentos, identificar padrões e apoiar decisões.

O SIG surge, portanto, como uma tecnologia de síntese territorial. Entretanto, ao longo das décadas seguintes, sua evolução técnica ampliou enormemente suas capacidades, ao mesmo tempo em que preservou uma tensão estrutural: quanto mais sofisticadas se tornaram as ferramentas, maior também se tornou a distância entre especialistas e usuários não técnicos (figura 4).

Figura 4 - 1960–2026: da informação territorial estatal à inteligência territorial pública



A evolução dos SIG acompanhou a própria transformação do meio técnico-científico-informacional. A passagem dos grandes computadores aos computadores pessoais, a ampliação da capacidade de processamento, o desenvolvimento de estações gráficas, a disseminação de bancos de dados relacionais e espaciais, a difusão da internet, o avanço do sensoriamento remoto, a computação em nuvem e a emergência das interfaces web transformaram a geoinformação em uma infraestrutura cotidiana.

Vitor Lacerda destaca justamente a década de 1980 como ponto de inflexão para o geoprocessamento, em razão da massificação da microinformática e das estações gráficas, e identifica o acesso a dados geográficos via navegador como uma das linhas mais importantes de desenvolvimento posterior dos SIG, especialmente na forma dos WebSIGs (LACERDA, 2025).

No Brasil, essa trajetória possui uma dimensão própria e pioneira. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE - desempenhou papel fundamental na consolidação de uma cultura nacional de geoprocessamento, sensoriamento remoto, processamento de imagens e desenvolvimento de software geográfico.

O SPRING, desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens do INPE, representou um marco histórico dos SIG no Brasil; o próprio INPE registra que o conhecimento acumulado no SPRING permitiu a concepção e o desenvolvimento da TerraLib/TerraView, biblioteca e aplicação de código aberto voltadas a suportar aplicações geográficas. Essa linhagem brasileira é relevante porque demonstra que a geoinformação não foi apenas importada como técnica pronta, mas também desenvolvida nacionalmente em diálogo com demandas ambientais, territoriais e de soberania científica.

A popularização dos mapas digitais, por sua vez, marcou uma mudança cultural. O Google Maps, lançado em 8 de fevereiro de 2005, contribuiu para familiarizar milhões de usuários com mapas interativos, busca espacial, rotas, imagens e serviços baseados em localização. Essa popularização reduziu a estranheza social diante da informação espacial e aproximou o usuário comum de práticas antes restritas a especialistas. No entanto, a familiaridade com mapas digitais não equivale à democratização plena da análise geográfica. Consultar uma rota, visualizar uma imagem de satélite ou localizar um endereço é diferente de compreender a relação entre temperatura de superfície, vegetação, impermeabilização do solo, renda, risco climático, acesso a áreas verdes e desigualdade socioambiental.

Essa distinção é central. O desafio do WebSIG do século XXI não é apenas publicar mapas na internet, mas construir plataformas capazes de transformar dados espaciais em conhecimento territorial socialmente apropriável. A democratização da geoinformação não se realiza pela simples disponibilização de camadas, bases ou painéis.

Ela depende da capacidade de diferentes sujeitos compreenderem o que veem, formularem perguntas, compararem situações, interpretarem indicadores e utilizarem a informação espacial para qualificar decisões. Trata-se, portanto, de uma democratização não apenas do acesso, mas também da leitura, da interpretação e do uso público dos dados geográficos.

A Ciência da Geoinformação enfrenta, nesse ponto, um problema epistemológico profundo. Câmara, Monteiro e Medeiros (2003) argumentam que, apesar de seu caráter interdisciplinar, a Ciência da Geoinformação exige fundamentos conceituais capazes de articular Informática, Geografia, Planejamento Urbano, Engenharia, Estatística e Ciências Ambientais.

Para os autores, o conceito de espaço geográfico deve ser tomado como noção-chave para construir os fundamentos dessa disciplina, pois diferentes concepções de espaço implicam diferentes formas de representação computacional. Além disso, os autores alertam que computadores não são instrumentos neutros: eles são ferramentas de representação da realidade, e as estruturas de dados e algoritmos disponíveis em cada estágio tecnológico condicionam as formas pelas quais os problemas geográficos podem ser expressos computacionalmente.

Essa advertência conduz ao problema da chamada **reificação geográfica**. Quando usuários tomam a estrutura computacional como se ela fosse a própria realidade, deixam de perceber que todo mapa, camada, polígono, grade, indicador ou modelo é uma representação parcial, construída a partir de escolhas teóricas, técnicas e políticas.

Um SIG pode representar com grande eficiência unidades de área, superfícies, redes e distribuições espaciais, mas encontra maiores dificuldades para representar ações, conflitos, intencionalidades, processos sociais, temporalidades e relações de poder.

Por isso, Câmara, Monteiro e Medeiros (2003) defendem que as diferentes teorias do espaço desenvolvidas pela Geografia devem inspirar a construção de novas gerações de SIG (figura 5).

Figura 5 - Representação ≠ realidade: território vivido → modelo de dados → mapa/indicador → interpretação



A contribuição da Geografia Crítica torna-se, aqui, indispensável. Ao discutir Milton Santos, Câmara, Monteiro e Medeiros destacam a relevância do meio técnico-científico-informacional, das relações entre forma, função, estrutura e processo, dos fixos e fluxos, e do espaço como sistema de objetos e sistema de ações. Essas formulações indicam que o espaço geográfico não pode ser reduzido à geometria dos objetos, nem à localização de elementos sobre uma superfície. O espaço é produzido por práticas, normas, técnicas, usos, apropriações, disputas, infraestruturas, instituições e ações sociais. Os próprios autores observam que os conceitos de Santos são relevantes para a definição de uma epistemologia da Ciência da Geoinformação, ainda que o geógrafo não tenha tratado diretamente do uso de ferramentas como SIG em estudos geográficos.

Este livro parte exatamente dessa tensão. O WebSIG do século XXI deve ser entendido como uma infraestrutura sociotécnica em construção, situada entre a Ciência da Geoinformação, a computação, a Interação Humano-Computador, a Geografia Crítica, a visualização de dados, a governança institucional e as políticas públicas. Ele não deve ser pensado apenas como um sistema que disponibiliza mapas na web, mas como um ambiente de interpretação, mediação e ação sobre o território. Sua finalidade não é apenas permitir que o usuário veja onde algo está, mas que compreenda por que está ali, quais processos produziram aquela configuração, quem é afetado por ela, quais desigualdades ela revela e que políticas públicas podem responder a esse quadro.

Nesse sentido, a democratização da geoinformação exige superar duas barreiras simultâneas. A primeira é a barreira do acesso: computadores, internet, dados abertos, serviços web, softwares livres, padrões de interoperabilidade e infraestrutura de armazenamento e processamento. A segunda é a barreira do uso significativo: compreensão, interpretação, navegação, leitura crítica, apropriação social e capacidade de transformar informação em decisão. Warschauer (2003), ao discutir inclusão digital, já advertia que o

acesso à tecnologia não pode ser reduzido à presença física de equipamentos; ele depende das condições sociais, culturais e cognitivas de uso efetivo. De modo convergente, Goodchild (2007) mostra que a geoinformação contemporânea se transforma quando cidadãos deixam de ser apenas consumidores e passam a atuar também como produtores de informação geográfica.

A Interação Humano-Computador - IHC - ocupa, assim, um papel estratégico na construção do WebSIG do século XXI. Não se trata apenas de tornar plataformas mais agradáveis visualmente, mas de reconhecer que a interface é uma mediação epistemológica e política. A forma como uma legenda é construída, como uma camada é ativada, como um indicador é explicado, como um gráfico é apresentado, como uma comparação é permitida, como uma escala é escolhida e como um usuário compreende a relação entre mapa e dado interfere diretamente na capacidade de apropriação social do conhecimento. O TCC de Lacerda (2025) é importante justamente porque analisa a aplicação de princípios de IHC em SIG, tomando a reestruturação da UrbVerde como caso prático voltado à democratização da análise de dados geoespaciais (figura 6).

Figura 6 - Pirâmide especialista–usuário



A experiência da UrbVerde constitui o laboratório concreto a partir do qual este livro formula suas principais inferências. Desenvolvida como plataforma WebSIG de monitoramento socioambiental, a UrbVerde organiza e disponibiliza indicadores sobre vegetação, temperatura de superfície, áreas verdes, parques, praças, impermeabilização do solo e outros temas relevantes para o planejamento urbano, a adaptação climática e a redução das desigualdades territoriais. Em sua trajetória, a plataforma evidenciou que produzir dados é apenas uma parte do problema. Para que a geoinformação se converta em inteligência territorial, é necessário construir uma cadeia completa que envolva método científico, processamento de dados, arquitetura de informação, usabilidade, linguagem simples, visualização clara, governança institucional e conexão com políticas públicas.

A reestruturação da UrbVerde, conforme analisada por Lacerda, foi motivada pela necessidade de ampliar a escalabilidade, a acessibilidade e a capacidade de expansão da plataforma, especialmente diante da implementação de painéis voltados ao monitoramento de políticas públicas. O trabalho recorreu a metodologias centradas no usuário, como Design Thinking e Double Diamond, além de princípios de usabilidade, acessibilidade, heurísticas de Nielsen, linguagem simples e humanismo de dados. Os resultados indicam que essas escolhas melhoraram a usabilidade, a clareza e o engajamento, favorecendo o uso por gestores públicos e cidadãos não especialistas (LACERDA, 2025).

Essa aprendizagem é fundamental: a interface não é um detalhe estético; ela é parte da própria metodologia de democratização da geoinformação. Um WebSIG pode ter excelente base de dados, alta capacidade de processamento e rigor metodológico, mas continuará socialmente limitado se sua interface não permitir compreensão, comparação, apropriação e uso significativo. A clareza visual, a organização das informações, a inteligibilidade dos indicadores, a responsividade do mapa, a possibilidade de exportar dados e a explicação dos conceitos são componentes centrais da dimensão pública da plataforma. Os testes realizados na reestruturação da UrbVerde reforçam essa hipótese ao demonstrar que metodologias centradas no usuário contribuem para reduzir a barreira técnico-científica que historicamente limitou os SIG aos especialistas (LACERDA, 2025).

A crise climática reforça a urgência desse debate. As cidades concentram populações, infraestruturas, vulnerabilidades e riscos, ao mesmo tempo em que são territórios centrais para a formulação de políticas de mitigação e adaptação. Eventos extremos, enchentes, ilhas de calor, desigualdade de arborização, precariedade de drenagem, exposição de populações vulneráveis e déficit de espaços públicos verdes exigem instrumentos capazes de produzir diagnósticos territorializados, comparáveis e comunicáveis. Entretanto, tais instrumentos precisam ser compreensíveis para gestores públicos, técnicos municipais, professores, estudantes, jornalistas, organizações da sociedade civil e moradores. Caso contrário, a geoinformação permanece encerrada em circuitos especializados, incapaz de fortalecer a ação pública e o controle social.

Por isso, defendemos que o WebSIG do século XXI deve ser um **SIG social**. Essa expressão não significa apenas acrescentar variáveis sociais a mapas ambientais. Significa construir sistemas capazes de representar, ainda que parcialmente, a complexidade das relações entre objetos e ações, formas e processos, infraestruturas e desigualdades, riscos e vulnerabilidades, dados e decisões. Um WebSIG social deve permitir que a temperatura de superfície seja lida em relação à cobertura vegetal, que a cobertura vegetal seja interpretada em relação à renda e à urbanização, que os parques e praças sejam avaliados em relação ao acesso cotidiano da população, que a drenagem urbana seja compreendida em relação à ocupação do solo, e que cada indicador possa dialogar com planos, metas, ações e instrumentos de política pública.

O WebSIG do século XXI também deve ser compreendido como uma infraestrutura institucional. Plataformas territoriais não se sustentam apenas com código, mapas e servidores. Elas dependem de equipes, financiamento, documentação, atualização metodológica, governança de dados, pactuação com usuários, parcerias públicas, licenças, protocolos de manutenção, formas de validação e estratégias de comunicação. Ao contrário de produtos digitais encerrados em si mesmos, WebSIGs voltados ao interesse público precisam ser mantidos como infraestruturas vivas, capazes de incorporar novas

camadas, responder a novas demandas, preservar rastreabilidade metodológica e dialogar com os problemas concretos dos territórios.

Essa perspectiva também exige cautela. O WebSIG do século XXI não deve ser apresentado como solução totalizante para os problemas do planejamento territorial. Nenhuma plataforma, por mais robusta que seja, substitui processos políticos, participação social, conhecimento local, trabalho de campo, deliberação pública ou capacidade administrativa do Estado. O risco tecnocrático aparece justamente quando a visualização de dados passa a ser confundida com decisão política. Um WebSIG crítico deve apoiar a decisão, não substituí-la; deve ampliar a inteligibilidade do território, não reduzir sua complexidade; deve revelar desigualdades, não naturalizá-las; deve subsidiar políticas públicas, não simular neutralidade técnica diante de conflitos sociais.

A hipótese central deste livro é, portanto, que o WebSIG do século XXI representa uma nova etapa da geoinformação: não mais apenas o SIG de especialista, nem simplesmente o mapa digital popularizado, mas uma plataforma sociotécnica de produção, circulação e apropriação pública de inteligência territorial. Essa hipótese será desenvolvida a partir de três movimentos articulados. O primeiro é genealógico: recuperar a história dos SIG desde suas experiências pioneiras, com destaque para o Canadá, a evolução computacional e a trajetória brasileira do INPE. O segundo é epistemológico: discutir que concepções de espaço cabem nas representações computacionais e quais são os limites da atual geração de SIG. O terceiro é propositivo: formular, a partir da experiência da UrbVerde, princípios para um WebSIG social, dinâmico, comunicável, centrado no usuário e conectado às políticas públicas.

Ao propor essa leitura, o livro busca dialogar com diferentes públicos. Para pesquisadores da geoinformação, ele oferece uma reflexão sobre os limites epistemológicos e sociais dos SIG. Para desenvolvedores e designers de plataformas, apresenta a importância da experiência do usuário, da usabilidade e da arquitetura de informação. Para geógrafos, urbanistas e planejadores, defende que a representação computacional do espaço precisa dialogar com processos sociais, desigualdades e políticas territoriais. Para gestores públicos, indica que plataformas territoriais podem fortalecer diagnósticos, priorização de ações, monitoramento e transparência. Para professores, estudantes e sociedade civil, sustenta que compreender o território é parte fundamental da cidadania no século XXI.

A questão que atravessa este livro pode ser formulada da seguinte maneira: **como construir sistemas capazes de representar o território sem reduzir sua complexidade, democratizar dados sem banalizar conceitos e apoiar políticas públicas sem abandonar a crítica social?** A resposta não está pronta. Ela se encontra em construção, nas universidades, nos institutos de pesquisa, nos laboratórios, nas administrações públicas, nas escolas, nos movimentos sociais, nas redes de dados abertos e nas experiências que tentam aproximar conhecimento científico e vida cotidiana. A UrbVerde é uma dessas experiências. Este livro procura aprender com ela, mas também ir além dela, propondo uma agenda para que o WebSIG do século XXI se constitua como tecnologia pública de interpretação, mediação e transformação do território (quadro 2).

Quadro 2 - Pergunta orientadora do livro

O Problema Central da Investigação

"Como transformar os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) - historicamente marcados pela opacidade técnica e pelo controle tecnocrático estatal - em infraestruturas sociotécnicas vivas, capazes de democratizar a apropriação cognitiva do território e subsidiar o ciclo de políticas públicas de justiça territorial e adaptação climática no século XXI?"

Os Três Pilares do Desdobramento Crítico

- Superação Técnica (A Interface): **Romper com a** opacidade técnica **que historicamente isolou os SIG no topo da pirâmide, recorrendo à Interação Humano-Computador (IHC), à engenharia de usabilidade e ao design centrado no usuário para simplificar sistemas complexos.**
-  Apropriação Cognitiva (O Conhecimento): **Converter o dado geográfico bruto em** linguagem simples **e legível, garantindo que o cidadão comum, o professor de escola pública e o gestor local não consumam apenas mapas decorativos, mas interpretem ativamente as dinâmicas espaciais.**
- Justiça Territorial (A Ação): **Reconectar a tecnologia ao** território vivido **e às suas assimetrias socioambientais, servindo como uma infraestrutura de suporte real e compartilhado para o desenho e monitoramento de Planos de Ação Climática.**

A Cadeia de Valor Pública Integrada

DADO → DIAGNÓSTICO → PLANO → MONITORAMENTO

Referências

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

DESIGN COUNCIL. **Framework for Innovation: Design Council's evolved Double Diamond**. Londres: Design Council, 2019.

GOODCHILD, Michael F. **Citizens as sensors: the world of volunteered geography**. *GeoJournal*, v. 69, p. 211-221, 2007.

GOOGLE. **A look back at 15 years of mapping the world**. Google Blog, 2020.

HARVEY, David. **Condição pós-moderna: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural**. São Paulo: Loyola, 1992.

INPE. **SPRING: Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, s.d.

INPE. **TerraLib/TerraView**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, s.d.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

MILLAR, David. **Data for Decision**. Direção: David Millar. Produção: Sidney Goldsmith. Montreal: National Film Board of Canada, 1968. 1 filme documentário, 22 min.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

SANTOS, Milton. **Por uma geografia nova: da crítica da geografia a uma geografia crítica**. São Paulo: Hucitec, 1978.

SANTOS, Milton. **Espaço e método**. São Paulo: Nobel, 1985.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

TOMLINSON, Roger F. **A Geographic Information System for Regional Planning**. Ottawa: Department of Forestry and Rural Development, Government of Canada, 1968.

WARSCHAUER, Mark. **Technology and Social Inclusion: Rethinking the Digital Divide**. Cambridge: MIT Press, 2003.

Parte I - A invenção dos SIG: quando o território excedeu a capacidade humana de processamento

A invenção dos Sistemas de Informação Geográfica não pode ser compreendida apenas como um capítulo da história da computação. Ela deve ser situada no encontro entre Estado, planejamento territorial, cartografia, recursos naturais, estatística, bancos de dados e processamento eletrônico de informações. O SIG moderno nasce quando o território passa a produzir uma quantidade de dados superior à capacidade humana de organização manual. Mapas, fichas, inventários, levantamentos de campo, fotografias aéreas, classificações de solo, vegetação, florestas, recursos hídricos, vida silvestre e usos da terra compunham um universo informacional cada vez mais amplo, fragmentado e difícil de articular. O problema central já não era apenas mapear, mas **relacionar informações territoriais dispersas para apoiar decisões públicas**.

É nesse contexto que a experiência canadense dos anos 1960 se torna pioneira. O *Canada Land Inventory* foi concebido como um amplo inventário multidisciplinar das terras rurais canadenses, abrangendo mais de 2,5 milhões de quilômetros quadrados de terras e águas, com mapeamentos voltados à capacidade da terra para agricultura, silvicultura, recreação, vida silvestre e aves aquáticas. Segundo a base oficial canadense, mais de mil folhas cartográficas na escala 1:250.000 foram produzidas ao longo das décadas de 1960, 1970 e início dos anos 1980. O desafio era monumental: como transformar esse imenso acervo de informações em um sistema capaz de produzir análise, comparação e decisão? (figura 7)

Figura 7 - Acervo do *Canada Land Inventory*, anos 1960

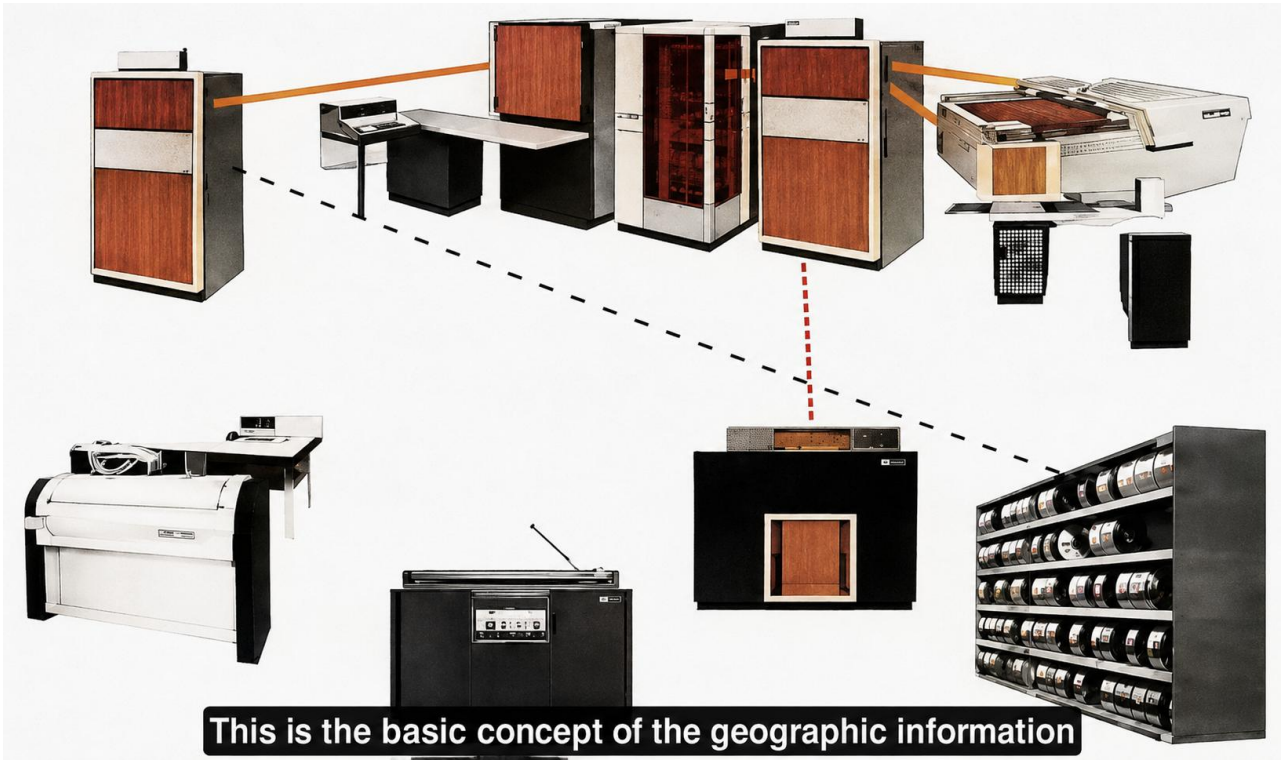


Fonte: *National Film Board* do Canadá, 1967

A resposta a esse desafio foi a criação de uma nova forma de organizar a informação geográfica. O documentário *Data for Decision*, produzido pelo National Film Board of Canada em 1968, dirigido por David Millar e produzido por Sidney Goldsmith para o Departamento Canadense de Florestas e Desenvolvimento Rural, registra esse momento histórico. O filme apresenta o *Canada Land Inventory Geo-information System* como um "novo tipo de computador", uma espécie de "biblioteca instantânea" desenvolvida para ajudar a gerir e desenvolver as terras canadenses. Mais do que uma curiosidade documental, o filme revela uma mudança de época: o território deixa de ser apenas representado por mapas isolados e passa a ser tratado como um sistema de informações articuláveis.

Roger Tomlinson ocupa lugar central nessa história. Reconhecido amplamente como o "pai do SIG", Tomlinson concebeu e desenvolveu, no início dos anos 1960, o primeiro Sistema de Informação Geográfica operacional para uso do *Canada Land Inventory*. A página oficial do Governador-Geral do Canadá destaca que seu trabalho pioneiro permitiu coletar, gerenciar e manipular dados geográficos, alterando profundamente a geografia como disciplina. O marco reconhecido pelo IEEE registra que, entre 1962 e 1968, o primeiro SIG foi desenvolvido por Tomlinson no Departamento Canadense de Florestas e Desenvolvimento Rural, em Ottawa, utilizando tecnologia computacional para coletar, digitalizar, armazenar, analisar e visualizar informações do inventário canadense de terras (figura 8).

Figura 8 - Primeiro Sistema de Informação Geográfica operacional, *1967*



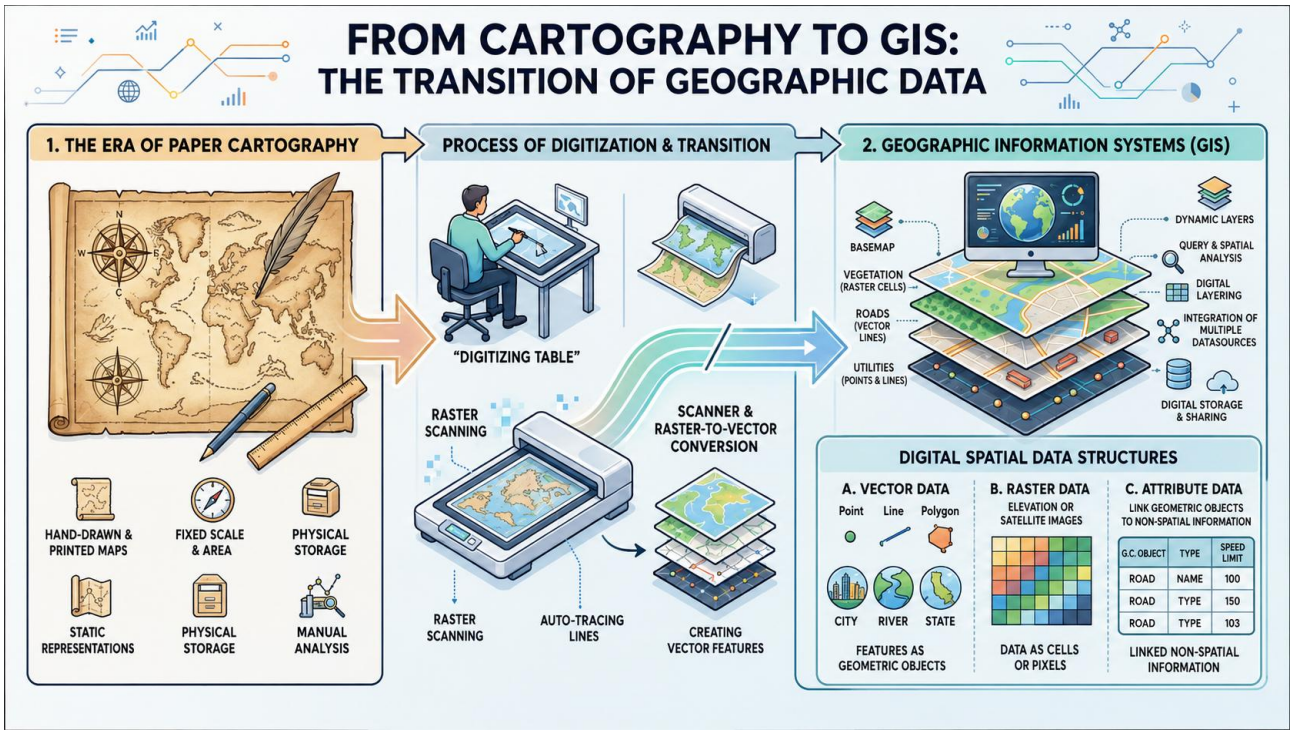
Fonte: *National Film Board* do Canadá, 1967

A importância dessa experiência não está apenas em seu pioneirismo técnico. O que se inaugura ali é uma nova relação entre cartografia e decisão. O mapa, até então compreendido predominantemente como produto gráfico final, passa a integrar um sistema de dados, procedimentos, cruzamentos,

medições, classificações e consultas. A cartografia deixa de ser apenas representação estabilizada do território e passa a operar como interface de um sistema analítico. Essa passagem é fundamental para todo o argumento deste livro: o SIG nasce quando o mapa deixa de ser apenas imagem e passa a ser parte de uma infraestrutura de conhecimento territorial.

Essa transformação também altera a própria ontologia do mapa. Na cartografia analógica, o mapa apresenta uma síntese visual relativamente fixa, produzida a partir de escolhas de escala, simbologia, generalização e classificação. No SIG, o território passa a ser decomposto em camadas, atributos, geometrias, bancos de dados, consultas e operações. Não se trata apenas de colocar o mapa dentro do computador. Trata-se de converter o espaço em estruturas computacionais manipuláveis: polígonos, linhas, pontos, grades, superfícies, tabelas, identificadores, relações topológicas e atributos alfanuméricos. O mapa passa a ser uma porta de entrada para um banco de dados georreferenciado (figura 9).

Figura 9 - Passagem da cartografia para o SIG



É por isso que a invenção dos SIG deve ser compreendida como uma mudança epistemológica. A partir dela, conhecer o território passa a depender não apenas da observação, do desenho cartográfico ou da descrição textual, mas também das formas computacionais disponíveis para representar, armazenar, cruzar e interpretar dados espaciais. Câmara, Monteiro e Medeiros afirmam que a Ciência da Geoinformação tem como fundamento básico a construção de representações computacionais do espaço; para os autores, computadores são ferramentas de representação da realidade, e as estruturas de dados e algoritmos disponíveis em cada momento condicionam as formas de expressão computacional dos problemas geográficos.

Essa advertência é central para a leitura proposta nesta Parte I. Ao mesmo tempo em que o SIG amplia extraordinariamente a capacidade de análise territorial, ele também introduz novos limites. Cada estrutura computacional permite ver certos aspectos do espaço e obscurece outros. Um polígono pode representar uma unidade de área; uma grade pode representar uma superfície; uma rede pode representar fluxos; uma tabela pode associar atributos a uma localização. Mas nenhuma dessas estruturas é o território em si. Elas são mediações. Quando essas mediações são tomadas como equivalentes à realidade, ocorre aquilo que Câmara, Monteiro e Medeiros chamam de "reificação geográfica": a tendência de tomar as estruturas computacionais pela própria realidade, sem consciência de suas limitações.

O primeiro capítulo desta parte recupera, portanto, o nascimento do SIG moderno a partir da experiência canadense. O objetivo não é apenas narrar a origem técnica do *Canada Geographic Information System* ou do *Canada Land Inventory Geo-information System*, mas compreender por que essa invenção ocorreu naquele momento histórico. Os anos 1960 combinavam expansão estatal do planejamento territorial, crescimento dos inventários de recursos naturais, desenvolvimento da computação, necessidade de padronização de dados e emergência de novas formas de administração do território. O SIG aparece, nesse cenário, como uma tecnologia estatal de síntese, voltada a converter grandes massas de informação em subsídios para o planejamento.

O segundo capítulo aprofunda a transformação que essa invenção provocou na cartografia. A passagem do mapa ao sistema não é apenas uma mudança de suporte - do papel para o computador -, mas uma mudança na própria natureza da representação espacial. O mapa deixa de ser apenas um produto visual e passa a ser uma interface de acesso a dados, procedimentos e análises. Essa passagem abre caminho para operações que se tornariam centrais na história dos SIG: sobreposição de camadas, consulta espacial, seleção por atributos, análise de vizinhança, medição, classificação, integração de dados raster e vetoriais, geração de indicadores, modelagem e atualização de bases territoriais.

Essa mudança também prepara o terreno para as questões que atravessarão o restante do livro. Se o SIG nasce como resposta à incapacidade humana de processar manualmente grandes volumes de informação territorial, o WebSIG do século XXI nasce diante de um novo desafio: não basta processar dados; é preciso torná-los compreensíveis, interpretáveis e socialmente apropriáveis. A história da invenção dos SIG mostra que a tecnologia sempre esteve associada à necessidade de decisão. A questão contemporânea é ampliar o sujeito dessa decisão: do especialista ao gestor, do gestor ao cidadão, da instituição ao território vivido.

Assim, a Parte I cumpre uma função genealógica e conceitual. Ela mostra que o SIG não surgiu como simples evolução do mapa, mas como resposta a uma crise de escala, complexidade e processamento. Mostra também que, desde sua origem, o SIG está ligado a uma dupla dimensão: técnica e institucional. Técnica, porque depende de computadores, bancos de dados, algoritmos e modelos de representação. Institucional, porque nasce associado a programas de Estado, planejamento territorial, inventários nacionais e políticas públicas. Essa dupla origem será fundamental para compreender, nos capítulos seguintes, por que o WebSIG do século XXI deve ser pensado não apenas como ferramenta digital, mas como infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial (figura 10).

Figura 10 - Do problema antigo ao problema atual: processar dados / democratizar interpretação



Referências bibliográficas

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

CANADA. Agriculture and Agri-Food Canada. **Canada Land Inventory - CLI**. Ottawa: Government of Canada, 2019.

IEEE HISTORY CENTER. **Milestones: First Geographic Information System (GIS), 1962-1968**. Engineering and Technology History Wiki, 2024.

MILLAR, David. **Data for Decision**. Direção: David Millar. Produção: Sidney Goldsmith. Montreal: National Film Board of Canada, 1968. 1 filme documentário, 22 min.

NATIONAL FILM BOARD OF CANADA. **Data for Decision**. Montreal: NFB, 1968.

TOMLINSON, Roger F. **A Geographic Information System for Regional Planning**. Ottawa: Department of Forestry and Rural Development, Government of Canada, 1968.

TOMLINSON, Roger F. **An Introduction to the Geo-information System of the Canada Land Inventory**. Ottawa: Department of Forestry and Rural Development, 1967.

Capítulo 1 - O nascimento do SIG moderno: Canadá, computadores e planejamento territorial

A invenção dos Sistemas de Informação Geográfica não pode ser compreendida apenas como uma inovação computacional. Ela deve ser situada no encontro entre Estado, planejamento territorial, recursos naturais, cartografia, estatística e processamento eletrônico de dados. Nos anos 1960, o Canadá enfrentava um problema que se tornaria cada vez mais comum nas décadas seguintes: como transformar uma massa crescente de informações territoriais em conhecimento útil para a decisão pública? O documentário *Data for Decision*, produzido pelo National Film Board of Canada, registra esse momento de passagem, quando a análise manual do território se mostra insuficiente diante da complexidade das informações coletadas. O SIG nasce, portanto, como tecnologia de síntese: uma máquina institucional e computacional voltada a organizar dados dispersos, produzir cruzamentos e apoiar decisões sobre o uso do território (MILLAR, 1968; NATIONAL FILM BOARD OF CANADA, 1968) (figura 11).

Figura 11 - Recriação visual inspirada em *Data for Decision*



1.1. O território como problema de Estado

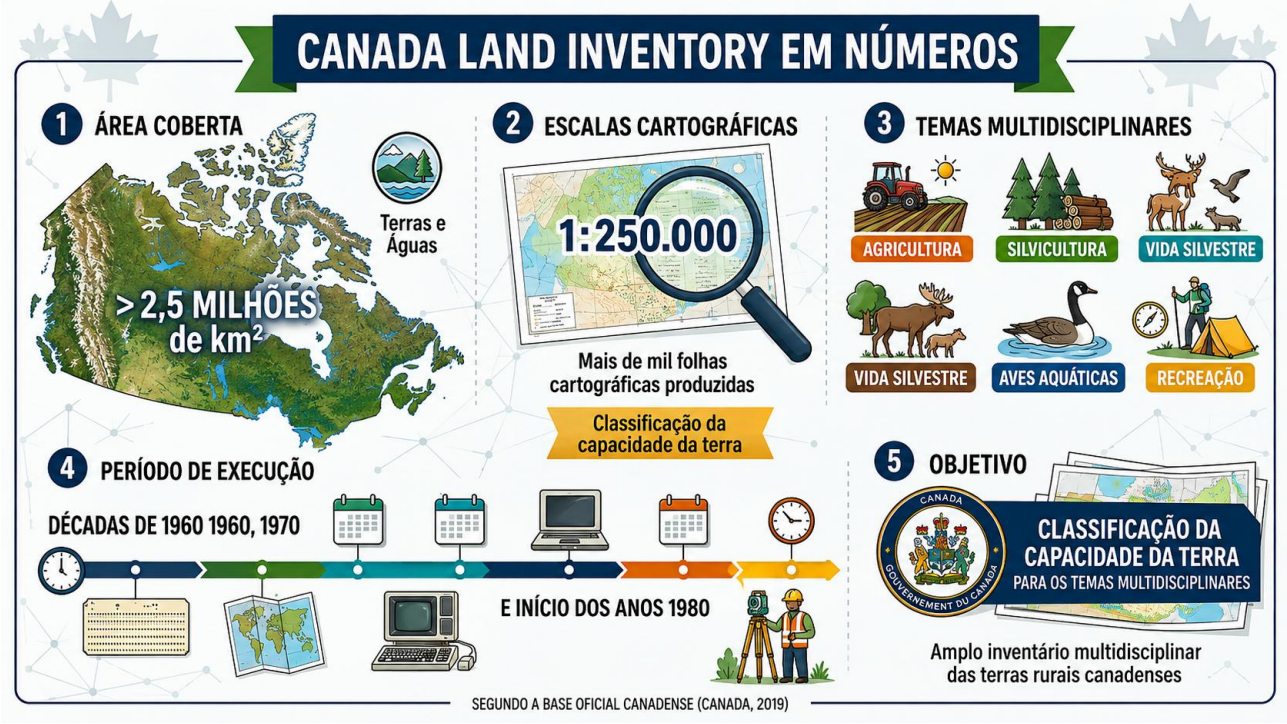
A emergência dos SIG modernos está associada a uma mudança na forma como o Estado passou a conhecer e administrar o território. No pós-guerra, países de grande extensão territorial, como o Canadá, enfrentavam o desafio de planejar o uso de seus recursos naturais, orientar a ocupação de áreas produtivas, avaliar potencial agrícola, florestal e recreativo, organizar políticas de desenvolvimento regional e lidar com a crescente complexidade dos dados ambientais e territoriais. O problema não era

apenas possuir mapas. O problema era produzir relações entre mapas, dados, classificações e decisões (TOMLINSON, 1968; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

A cartografia convencional oferecia uma representação visual do território, mas as políticas públicas exigiam algo mais: comparar áreas, cruzar variáveis, identificar aptidões, reconhecer limitações, sobrepor usos, avaliar alternativas e estabelecer prioridades. O planejamento territorial passava a depender de um tipo de conhecimento que não podia mais ser produzido somente pela leitura isolada de mapas em papel. Era necessário organizar informações de modo sistemático, padronizado e recuperável, permitindo que o território fosse compreendido não apenas como superfície representada, mas como conjunto de relações espaciais passíveis de consulta, cruzamento e análise (TOMLINSON, 1967; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

O *Canada Land Inventory* surgiu nesse contexto. Tratava-se de um amplo inventário multidisciplinar das terras rurais canadenses, voltado à classificação da capacidade da terra para agricultura, silvicultura, vida silvestre, aves aquáticas e recreação. Segundo a base oficial canadense, o inventário cobriu mais de 2,5 milhões de quilômetros quadrados de terras e águas e produziu mais de mil folhas cartográficas na escala 1:250.000 ao longo das décadas de 1960, 1970 e início dos anos 1980 (CANADA, 2019) (figura 12).

Figura 12 - *Canada Land Inventory* em números



Esses números são importantes porque revelam a escala do problema. O desafio canadense não era apenas desenhar mapas, mas construir uma forma de articular uma enorme quantidade de informações territoriais em um sistema capaz de apoiar decisões. O território passava a ser compreendido como uma base de dados complexa: cada área podia ser descrita por múltiplas características, e cada característica podia ser relacionada a outras camadas de informação. O que estava em jogo era a passagem de uma

cartografia de representação para uma cartografia de processamento (TOMLINSON, 1968; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

1.2. O Canada Land Inventory e a classificação do espaço

O *Canada Land Inventory* pode ser compreendido como uma tentativa de transformar a diversidade territorial canadense em informação planejável. Seu objetivo era produzir uma leitura sistemática da capacidade e das limitações das terras, especialmente nas áreas rurais e produtivas. Para isso, era necessário classificar solos, vegetação, cobertura, aptidões, usos potenciais e restrições ambientais. O território não era tratado apenas como superfície contínua, mas como conjunto de unidades diferenciadas que precisavam ser identificadas, descritas e comparadas (CANADA, 2019; TOMLINSON, 1967).

Essa forma de conhecer o território dialoga com uma longa tradição da geografia regional e da cartografia temática: delimitar áreas, atribuir características, comparar unidades e produzir sínteses espaciais. No entanto, o que muda com o *Canada Land Inventory* é a escala do empreendimento e a necessidade de processamento integrado. Mapas impressos, fichas, relatórios e classificações podiam representar informações particulares, mas não eram suficientes para responder rapidamente a perguntas combinadas. O inventário exigia uma capacidade de cruzamento que antecipava aquilo que se tornaria uma das funções centrais dos SIG: associar diferentes camadas de informação a uma base espacial comum (TOMLINSON, 1968; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Por exemplo: uma área poderia ser adequada para determinado uso agrícola, mas inadequada por suas limitações de drenagem; outra poderia ter potencial recreativo, mas estar associada a restrições ambientais; outra ainda poderia apresentar conflitos entre uso florestal, conservação de vida silvestre e expansão da ocupação. A decisão pública exigia cruzamento. O planejamento exigia síntese. A gestão do território exigia comparação. O *Canada Land Inventory* produziu, assim, uma demanda que a cartografia analógica, sozinha, não conseguia satisfazer plenamente: não bastava mais produzir mapas; era necessário construir um sistema de relações entre informações espaciais (TOMLINSON, 1967; TOMLINSON, 1968).

Nesse sentido, o inventário canadense expressa um momento de transição na história da geoinformação. Um mapa representa uma informação espacial; um SIG organiza relações entre informações espaciais. Um mapa mostra; um SIG permite perguntar. Essa diferença, que hoje pode parecer evidente, foi fundamental nos anos 1960. A inovação estava menos na mera existência de dados territoriais e mais na possibilidade de estruturá-los em um sistema computacional capaz de armazenar, recuperar, relacionar e analisar informações espaciais de maneira sistemática (TOMLINSON, 1968; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

1.3. Roger Tomlinson e a criação do SIG operacional

Roger Tomlinson ocupa lugar de destaque nessa história porque percebeu que o problema do inventário territorial canadense não era apenas cartográfico, mas informacional. Era necessário desenvolver uma estrutura capaz de coletar, digitalizar, armazenar, recuperar, cruzar, analisar e visualizar dados geográficos. A página oficial do Governador-Geral do Canadá reconhece Tomlinson

como o geógrafo que concebeu e desenvolveu o primeiro Sistema de Informação Geográfica para uso do *Canada Land Inventory*, destacando sua contribuição para coletar, gerenciar e manipular dados geográficos e transformar a própria disciplina geográfica (CANADA, 2001) (figura 13).

Figura 13 - Roger Tomlinson e o primeiro SIG operacional



O marco histórico reconhecido pelo IEEE também situa entre 1962 e 1968 o desenvolvimento do primeiro Sistema de Informação Geográfica por Roger Tomlinson no Departamento Canadense de Florestas e Desenvolvimento Rural, em Ottawa. Segundo essa referência, o sistema utilizava tecnologia computacional para coletar, digitalizar, armazenar, analisar e visualizar informações do *Canada Land Inventory* (IEEE HISTORY CENTER, 2024).

Esse aspecto é fundamental. O SIG moderno não nasce simplesmente da informatização de mapas já existentes. Ele nasce da percepção de que o território poderia ser organizado como informação computável. O mapa deixava de ser o ponto de chegada e passava a ser uma das formas de saída de um sistema mais amplo. A informação territorial poderia ser armazenada em bancos de dados, relacionada a posições geográficas, cruzada com outras informações e novamente visualizada em mapas, tabelas, relatórios ou sínteses analíticas (TOMLINSON, 1968; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

O trabalho de Tomlinson representa, portanto, uma inflexão metodológica. A questão não era apenas fazer mapas mais rapidamente. Era alterar a forma como os dados territoriais eram estruturados. A partir desse momento, o território podia ser decomposto em unidades, atributos, códigos e localizações. Cada fragmento espacial podia ser associado a características específicas. Cada característica podia ser recuperada, comparada e combinada com outras. O espaço geográfico ingressava em uma nova etapa de representação: a representação computacional (TOMLINSON, 1967; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

1.4. *Data for Decision* como documento histórico

O documentário *Data for Decision* é um documento histórico precioso porque permite observar a invenção dos SIG em seu próprio momento de afirmação pública. Produzido pelo National Film Board of Canada para o Departamento Canadense de Florestas e Desenvolvimento Rural, o filme é catalogado como documentário de 1968, com direção de David Millar e produção de Sidney Goldsmith. A sinopse oficial o apresenta como uma abordagem do *Canada Land Inventory Geo-information System*, sistema computacional utilizado para ajudar a gerir e desenvolver as terras canadenses (MILLAR, 1968; NATIONAL FILM BOARD OF CANADA, 1968).

A descrição do próprio NFB é reveladora: o sistema é apresentado como um "novo tipo de computador", uma espécie de "biblioteca instantânea", criado para ajudar a administrar e desenvolver o território canadense (NATIONAL FILM BOARD OF CANADA, 1968). A metáfora da biblioteca é especialmente interessante. Ela indica que o problema central era organizar, recuperar e relacionar informações. Mas a biblioteca, nesse caso, não era composta apenas por livros ou documentos textuais; era composta por dados espaciais, mapas, classificações, atributos e localizações.

O documentário registra, portanto, uma mudança cultural na relação entre território e informação. A terra deixa de ser vista apenas como extensão física a ser percorrida, medida e desenhada. Ela passa a ser concebida como um conjunto de dados que pode ser armazenado, combinado e analisado eletronicamente. A máquina aparece como mediadora entre o inventário e a decisão. O computador não substitui o território, mas cria uma nova forma de interrogá-lo (MILLAR, 1968; TOMLINSON, 1968).

Essa dimensão é essencial para a história dos SIG. O filme não documenta apenas uma tecnologia nascente; ele documenta uma nova imaginação administrativa do espaço. O território aparece como algo que pode ser racionalizado por meio da informação. Essa racionalidade, evidentemente, não é neutra: ela responde a projetos de desenvolvimento, políticas de uso da terra, critérios de classificação e prioridades institucionais. Mas é justamente por isso que o documentário interessa. Ele mostra que o SIG nasce, desde o início, como tecnologia de Estado, planejamento e decisão (MILLAR, 1968; TOMLINSON, 1968).

1.5. A passagem do mapa em papel ao dado espacial digital

A passagem da cartografia analógica ao SIG não deve ser entendida como mera mudança de suporte. Não se trata apenas de trocar o papel pela tela. Trata-se de uma transformação mais profunda: a conversão do mapa em sistema de informação. Na cartografia tradicional, o mapa é uma síntese gráfica relativamente estabilizada. Ele condensa observações, medições, convenções, símbolos e escalas em uma representação final. No SIG, ao contrário, o mapa torna-se uma interface provisória de visualização de dados que podem ser manipulados, atualizados, combinados e analisados (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa mudança altera a própria função do mapa. O mapa deixa de ser somente produto e passa a ser meio. Ele deixa de ser apenas imagem e passa a ser porta de entrada para bancos de dados georreferenciados. A informação espacial pode ser consultada por localização, por atributo, por relação

topológica, por proximidade, por interseção, por sobreposição ou por critérios combinados. O território passa a ser representado por estruturas computacionais: pontos, linhas, polígonos, grades, códigos, tabelas, identificadores e atributos (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

A contribuição de Câmara, Monteiro e Medeiros permite interpretar essa passagem. Para os autores, a Ciência da Geoinformação tem como fundamento básico a construção de representações computacionais do espaço. Computadores não são apenas instrumentos técnicos; são ferramentas de representação da realidade. Por isso, as estruturas de dados e os algoritmos disponíveis em cada estágio da tecnologia condicionam as formas de expressão computacional dos problemas geográficos (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa interpretação permite compreender que o nascimento do SIG moderno inaugura uma nova epistemologia prática do território. Conhecer o espaço passa a depender, cada vez mais, da forma como ele pode ser convertido em dado, modelado, armazenado e interrogado por sistemas computacionais. Isso amplia extraordinariamente a capacidade de análise, mas também introduz limites: aquilo que não pode ser codificado, classificado, georreferenciado ou modelado tende a permanecer menos visível no interior do sistema (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003) (figura 14).

Figura 14 - Do mapa em papel ao dado espacial digital



1.6. O SIG como tecnologia de síntese

O SIG moderno nasce, portanto, como tecnologia de síntese. Ele permite reunir dados de origens diversas, associá-los a localizações, cruzá-los e produzir novas interpretações. Essa capacidade de síntese era particularmente importante para o *Canada Land Inventory*, pois o planejamento territorial exigia comparar múltiplas dimensões da terra: capacidade agrícola, uso atual, cobertura, aptidão

florestal, recreação, vida silvestre, limitações ambientais e prioridades de desenvolvimento (TOMLINSON, 1967; TOMLINSON, 1968) (figuara 15).

Figura 15 - SIG como tecnologia de síntese



O salto qualitativo está na possibilidade de sobreposição. Sobrepor mapas em papel já era uma prática conhecida, especialmente por meio de transparências e técnicas de cartografia temática. Mas a sobreposição computacional alterou a escala, a velocidade e a capacidade de repetição dessa operação. O cruzamento de camadas pôde ser automatizado, atualizado e transformado em novas classes de informação. O mapa resultante deixou de ser apenas desenho e passou a ser produto de uma operação lógica (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Essa dimensão lógica é central. O SIG permite operar com perguntas do tipo: quais áreas possuem determinada aptidão? Quais áreas combinam dois ou mais critérios? Quais regiões apresentam restrições simultâneas? Que padrões aparecem quando se cruzam solo, cobertura vegetal, declividade e uso da terra? Que áreas devem ser priorizadas para determinado programa público? Tais perguntas indicam a passagem de uma cartografia descritiva para uma cartografia analítica (TOMLINSON, 1968; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

A invenção do SIG moderno, nesse sentido, não se limita à digitalização de mapas. Ela inaugura a possibilidade de produzir conhecimento novo a partir de relações entre dados espaciais. O sistema torna-se capaz de gerar interpretações que não estavam imediatamente disponíveis em nenhuma camada isolada. A inteligência do SIG está justamente na relação: entre dados, entre camadas, entre atributos, entre escalas e entre perguntas (TOMLINSON, 1968; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

1.7. A impossibilidade humana de processar grandes massas de informação territorial

O título desta parte - "quando o território excedeu a capacidade humana de processamento" - procura sintetizar o problema histórico que deu origem ao SIG moderno. Não se trata de afirmar que o território se tornou mais complexo apenas nos anos 1960. O território sempre foi complexo. O que mudou foi o volume de dados disponíveis, a escala das políticas públicas, a ambição dos inventários nacionais e a necessidade de produzir decisões rápidas e comparáveis a partir de informações dispersas (TOMLINSON, 1967; TOMLINSON, 1968).

A capacidade humana de ler mapas, fichas e relatórios continuava indispensável, mas já não era suficiente. O problema era combinatório. Quanto maior o número de variáveis e unidades territoriais, maior a dificuldade de produzir cruzamentos consistentes. Cada nova camada aumentava exponencialmente as possibilidades de análise. A computação oferecia uma resposta a esse problema: armazenar grandes volumes de dados, realizar operações repetitivas, recuperar informações por critérios definidos e produzir sínteses espaciais em menor tempo (TOMLINSON, 1968; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

O trabalho de Vitor Lacerda observa que a evolução dos SIG começou modestamente nos anos 1950, com esforços de automatização do processamento de dados espaciais na Inglaterra e nos Estados Unidos, mas identifica o surgimento dos primeiros SIG formais no Canadá, na década de 1960, ainda marcados por alto custo operacional, necessidade de hardware sofisticado e dependência de profissionais especializados (LACERDA, 2025).

Essa observação é importante porque mostra que o nascimento do SIG moderno foi, ao mesmo tempo, revolucionário e restrito. Revolucionário porque mudou a forma de processar informação espacial; restrito porque sua operação inicial dependia de instituições com capacidade técnica, financeira e computacional. Esse paradoxo acompanha toda a história dos SIG. A tecnologia nasce para ampliar a capacidade de análise territorial, mas inicialmente permanece concentrada em grandes organizações, governos, centros de pesquisa e equipes especializadas (LACERDA, 2025; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

A promessa de democratização da geoinformação só se tornaria mais concreta décadas depois, com a microinformática, os SIG desktop, a internet, os WebSIGs, os serviços baseados em localização e as interfaces centradas no usuário. Mas a origem canadense já continha a questão fundamental: como converter informação espacial em decisão? Essa pergunta permanece atual e será retomada ao longo deste livro, agora em um contexto marcado por plataformas digitais, políticas públicas, crise climática, desigualdades territoriais e necessidade de participação social (figura 16).

Figura 16 - A impossibilidade humana de processamento



1.8. A dimensão política da classificação territorial

A história do *Canada Land Inventory* também exige reconhecer que classificar o território é uma operação técnica e política. Inventários nacionais não apenas descrevem a terra; eles organizam formas de valorização, prioridade e intervenção. Ao classificar áreas segundo capacidade agrícola, aptidão florestal, recreação ou vida silvestre, o Estado produz uma leitura do território orientada por determinados objetivos de desenvolvimento e gestão. O SIG, nesse contexto, não é uma máquina neutra. Ele opera dentro de instituições, programas e visões de futuro (TOMLINSON, 1968; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa constatação não diminui a importância do pioneirismo canadense. Ao contrário, torna sua análise mais rica. O nascimento do SIG moderno mostra como ciência, técnica e Estado se articularam para criar uma nova forma de inteligência territorial. A computação entrou no planejamento não apenas como ferramenta de eficiência, mas como linguagem capaz de reorganizar a forma como o território era conhecido e administrado (TOMLINSON, 1968; MILLAR, 1968).

O documentário *Data for Decision* expressa bem essa confiança na racionalização técnica do território. A ideia de uma "biblioteca instantânea" sugere que o problema da decisão poderia ser enfrentado por meio da organização adequada da informação (NATIONAL FILM BOARD OF CANADA, 1968). Essa confiança é característica do período: em um contexto de modernização administrativa, planejamento regional e expansão das capacidades computacionais, o SIG aparecia como promessa de objetividade, integração e velocidade.

No entanto, a história posterior da geoinformação mostraria que a qualidade das decisões não depende apenas da quantidade de dados ou da sofisticação dos sistemas. Depende também das perguntas formuladas, dos critérios de classificação, dos interesses envolvidos, da escala de análise, da qualidade das bases, da interpretação dos usuários e das disputas políticas sobre o território. O SIG pode apoiar a decisão, mas não substitui a política. Ele pode revelar relações, mas não define sozinho o sentido das ações públicas (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

1.9. Do SIG moderno ao WebSIG do século XXI

O nascimento do SIG moderno no Canadá permite compreender a genealogia do WebSIG do século XXI. O primeiro desafio era processar grandes massas de informação territorial para apoiar decisões públicas. O desafio contemporâneo é mais amplo: processar, atualizar, comunicar, interpretar e democratizar informações territoriais em sociedades complexas, desiguais e atravessadas por crises ambientais e climáticas. Essa passagem entre o SIG de Estado e o WebSIG público não elimina a dimensão técnica, mas amplia sua dimensão social e institucional (LACERDA, 2025; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

A experiência canadense inaugura a ideia de que o território pode ser tratado como sistema de informação. O WebSIG contemporâneo amplia essa lógica ao inserir a geoinformação em plataformas acessíveis pela internet, com interfaces interativas, painéis, gráficos, indicadores, downloads, APIs, camadas dinâmicas e possibilidades de uso por públicos diversos. No entanto, a questão central permanece: transformar dados espaciais em conhecimento útil para a ação pública (LACERDA, 2025).

A diferença é que, no século XXI, o sujeito dessa ação precisa ser ampliado. O SIG canadense nasceu ligado ao Estado planejador e ao especialista técnico. O WebSIG do século XXI precisa dialogar também com gestores municipais, professores, estudantes, jornalistas, organizações sociais, movimentos territoriais e cidadãos. A inteligência territorial não pode permanecer confinada aos especialistas. Ela precisa ser compreensível, apropriável e socialmente orientada. Essa é uma das principais lições que a experiência da UrbVerde, analisada por Lacerda, permite projetar para a discussão contemporânea sobre a evolução dos SIG e dos WebSIGs (LACERDA, 2025).

É por isso que retornar ao Canadá dos anos 1960 não é um exercício meramente histórico. É uma forma de compreender a origem de uma questão que permanece aberta. Os SIG nasceram quando o território excedeu a capacidade humana de processamento manual. Os WebSIGs do século XXI emergem quando a sociedade precisa transformar grandes volumes de dados territoriais em conhecimento público, crítico e acionável. Entre esses dois momentos, há uma continuidade: a busca por sistemas capazes de organizar a complexidade espacial. Mas há também uma mudança fundamental: o horizonte contemporâneo não é apenas processar melhor o território; é democratizar sua interpretação.

Figura 17 - Linha evolutiva Do CGIS ao WebSIG social, conectando passado e futuro



1.10. Considerações finais

O nascimento do SIG moderno resultou da convergência entre planejamento territorial, classificação de recursos naturais, cartografia, estatística e processamento eletrônico de dados. No Canadá dos anos 1960, o *Canada Land Inventory* e o *Canada Geographic Information System* mostraram que o SIG não surgia apenas como inovação computacional, mas como tecnologia institucional de síntese territorial: uma forma de organizar grandes massas de informação espacial e convertê-las em conhecimento para a decisão pública.

A partir dessa experiência, o mapa deixou de ser apenas produto final e passou a integrar um sistema de informação. O território passou a ser decomposto em dados, atributos, geometrias e relações, abrindo caminho para bancos de dados espaciais, cruzamentos analíticos, modelos e consultas territoriais. Essa mudança inaugurou uma nova etapa da história da cartografia e preparou os desafios que atravessam todo este livro: representar o território sem reduzi-lo, processar dados sem reificá-los e transformar informação espacial em conhecimento socialmente útil.

Referências bibliográficas

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

CANADA. Agriculture and Agri-Food Canada. **Canada Land Inventory - CLI**. Ottawa: Government of Canada, 2019.

CANADA. The Governor General of Canada. **Dr. Roger F. Tomlinson**. Ottawa: The Governor General of Canada, 2001.

IEEE HISTORY CENTER. **Milestones: First Geographic Information System (GIS), 1962-1968**. Engineering and Technology History Wiki, 2024.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

MILLAR, David. **Data for Decision**. Direção: David Millar. Produção: Sidney Goldsmith. Montreal: National Film Board of Canada, 1968. 1 filme documentário, 22 min.

NATIONAL FILM BOARD OF CANADA. **Data for Decision**. Montreal: National Film Board of Canada, 1968.

TOMLINSON, Roger F. **An Introduction to the Geo-information System of the Canada Land Inventory**. Ottawa: Department of Forestry and Rural Development, 1967.

TOMLINSON, Roger F. **A Geographic Information System for Regional Planning**. Ottawa: Department of Forestry and Rural Development, Government of Canada, 1968.

Capítulo 2 - Do mapa ao sistema: a mudança ontológica da cartografia

A passagem da cartografia analógica ao Sistema de Informação Geográfica representa uma mudança profunda na história da representação espacial. O SIG não é apenas um "mapa no computador". Ele altera a própria natureza da cartografia, pois transforma o mapa de produto gráfico final em interface de acesso, consulta, cruzamento, cálculo, atualização e modelagem de dados georreferenciados. O território deixa de ser representado apenas por símbolos estabilizados em uma folha de papel e passa a ser codificado em estruturas de dados, algoritmos, modelos, projeções, bancos relacionais, grades, vetores, atributos e consultas espaciais. Essa transformação inaugura uma nova condição epistemológica: conhecer o espaço passa a depender também das formas computacionais disponíveis para representá-lo (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003) (figura 18).

Figura 18 - Mapa analógico x SIG



Essa mudança não elimina a cartografia anterior. Ao contrário, ela se apoia em suas bases: escala, projeção, generalização, simbologia, classificação, seleção e representação. Mas o SIG desloca a cartografia para outro regime técnico e cognitivo. No mapa analógico, a informação espacial aparece condensada em uma imagem relativamente fixa. No SIG, a imagem cartográfica é apenas uma das expressões possíveis de um sistema de dados. O mapa pode ser ativado, desativado, filtrado, recomposto, cruzado, consultado e atualizado. Ele deixa de ser apenas objeto de leitura e passa a ser ambiente de operação.

2.1. Cartografia analógica e cartografia digital

A cartografia analógica consolidou, ao longo de séculos, formas sofisticadas de representar o espaço. Mapas topográficos, cartas náuticas, mapas cadastrais, plantas urbanas, atlas, mapas temáticos e cartas de uso do solo permitiram que Estados, exércitos, cientistas, empresas e planejadores visualizassem o território, definissem limites, organizassem informações, projetassem infraestruturas e administrassem

recursos. A força do mapa analógico reside justamente em sua capacidade de síntese: ele transforma uma realidade espacial complexa em uma imagem legível, organizada por escala, orientação, projeção, legenda e convenções gráficas (HARLEY, 1989; MONMONIER, 1996).

No entanto, essa capacidade de síntese é também uma limitação. O mapa analógico apresenta uma seleção de informações em uma configuração relativamente estabilizada. Uma vez impresso, ele não pode ser facilmente interrogado para além daquilo que foi previamente codificado. A leitura do mapa depende da capacidade do usuário de interpretar símbolos, escalas, cores, linhas, convenções e relações espaciais. É possível comparar mapas, sobrepor transparências, calcular distâncias e realizar interpretações, mas essas operações permanecem fortemente dependentes do trabalho manual, da experiência técnica e da disponibilidade material dos documentos cartográficos.

A cartografia digital não surge simplesmente para substituir o papel pela tela. Ela transforma a estrutura da informação cartográfica. Quando o mapa passa a ser produzido e armazenado digitalmente, seus elementos deixam de ser apenas marcas gráficas e passam a ser objetos computacionais. Uma linha pode representar uma estrada, mas também conter informações sobre nome, extensão, hierarquia viária, velocidade, pavimentação e conectividade. Um polígono pode representar um bairro, mas também carregar dados sobre população, renda, cobertura vegetal, temperatura de superfície ou acesso a equipamentos públicos. Um ponto pode representar uma escola, uma árvore, uma nascente, uma estação meteorológica ou uma ocorrência de risco.

Essa passagem modifica a relação entre representação e análise. O mapa analógico é predominantemente um suporte de visualização. O mapa digital, no interior de um SIG, torna-se uma interface para bancos de dados georreferenciados. Isso significa que o usuário não apenas olha o mapa, mas consulta o sistema. A pergunta deixa de ser apenas "o que está representado aqui?" e passa a incluir "quais objetos possuem determinado atributo?", "quais áreas estão dentro de determinado limite?", "quais fenômenos se sobrepõem?", "que padrões surgem quando duas ou mais camadas são cruzadas?" e "que novas informações podem ser derivadas dessa combinação?".

É por isso que a passagem do mapa ao sistema deve ser entendida como uma mudança ontológica da cartografia. O mapa deixa de ser apenas imagem e passa a ser expressão visual temporária de uma base de dados. Aquilo que aparece na tela é apenas uma possibilidade entre muitas outras. O mesmo conjunto de dados pode gerar diferentes mapas, gráficos, tabelas, indicadores, relatórios e modelos. O mapa torna-se uma das formas de manifestação do sistema, não o sistema em si.

2.2. A representação do espaço como dado

A transformação central introduzida pelos SIG é a conversão do espaço em dado computacional. Essa conversão exige que elementos do mundo sejam formalizados em estruturas manipuláveis por computadores. Ruas, rios, quadras, árvores, bairros, municípios, áreas de risco, manchas de vegetação, superfícies de temperatura e redes de transporte precisam ser representados por geometrias, coordenadas, atributos e relações. O espaço passa a ser descrito por meio de modelos computacionais.

Câmara, Davis e Monteiro (2001) definem os SIG como sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos, recuperando informações não apenas por seus atributos alfanuméricos, mas também por sua localização espacial. Essa definição mostra que o dado geográfico possui uma dupla natureza: ele descreve algo e, ao mesmo tempo, situa esse algo no espaço. A

informação geográfica não é apenas "o que" existe, mas também "onde" existe e "como" se relaciona espacialmente com outros objetos.

Essa dupla natureza diferencia os SIG de outros sistemas de informação. Em um cadastro comum, um registro pode conter nome, código, data, tipo ou valor. Em um banco de dados geográfico, esse registro também possui localização, forma, extensão, vizinhança, distância, interseção e pertencimento territorial. O espaço deixa de ser apenas contexto e passa a ser critério de consulta. Isso permite que perguntas espaciais sejam formuladas computacionalmente: quais áreas estão a menos de 400 metros de uma praça? Quais setores censitários apresentam simultaneamente baixa cobertura vegetal e alta temperatura de superfície? Quais bairros estão mais expostos a enchentes? Quais regiões combinam alta impermeabilização do solo e baixa renda?

Essa mudança tem consequências epistemológicas. Ao representar o espaço como dado, o SIG torna possível um tipo de conhecimento baseado em operações formais: seleção, classificação, sobreposição, interpolação, agregação, dissolução, recorte, união, interseção, análise de vizinhança, cálculo de área, cálculo de distância, modelagem de superfície e análise de redes. O território passa a ser interrogado por procedimentos computacionais. A questão é que esses procedimentos não são neutros: dependem da forma como o espaço foi modelado.

Por isso, Câmara, Monteiro e Medeiros (2003) insistem que a Ciência da Geoinformação deve ter como fundamento a reflexão sobre as representações computacionais do espaço. Para os autores, computadores são ferramentas de representação da realidade, e as estruturas de dados e algoritmos disponíveis em cada estágio tecnológico condicionam as formas pelas quais os problemas geográficos podem ser expressos computacionalmente. O SIG amplia a capacidade de análise, mas também molda o que pode ser visto, medido e interpretado (figura 19).

Figura 19 - A codificação do espaço



2.3. Raster, vetor, atributos e bancos de dados

A representação computacional do espaço se consolidou, historicamente, em torno de dois grandes modelos: o modelo vetorial e o modelo raster. O modelo vetorial representa objetos espaciais discretos por meio de pontos, linhas e polígonos. É especialmente adequado para representar entidades com limites relativamente definidos, como lotes, quadras, bairros, municípios, redes viárias, rios, equipamentos públicos ou áreas protegidas. O modelo raster, por sua vez, representa o espaço como uma matriz de células ou pixels, sendo particularmente adequado para fenômenos contínuos, como altitude, temperatura, declividade, umidade, índices de vegetação ou imagens de satélite (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; DE BY, 2001).

Essa distinção é fundamental porque cada modelo expressa uma maneira diferente de conceber o espaço. O vetor privilegia objetos, limites e geometrias discretas. O raster privilegia superfícies, gradientes e variações contínuas. Um município é mais facilmente representado como polígono vetorial; uma imagem de satélite, como matriz raster; uma rede de drenagem, como conjunto de linhas; uma estação meteorológica, como ponto; uma ilha de calor, como superfície contínua derivada de sensoriamento remoto. Nenhum desses modelos é universal. Cada um permite certas análises e dificulta outras.

No caso da UrbVerde, essa distinção aparece de forma clara. O TCC de Vitor Lacerda observa que grandes volumes de informações espaciais podem ser classificados em dois modelos fundamentais de representação computacional: raster, ou matricial, e vetorial. O formato raster representa informações por meio de matriz de pixels ou células, sendo típico de dados de sensoriamento remoto e de fenômenos de variação contínua; já a representação vetorial utiliza pares de coordenadas para definir localização e forma de objetos discretos, como pontos, linhas e polígonos (LACERDA, 2025).

Mas os modelos raster e vetorial não bastam por si mesmos. Eles precisam estar associados a atributos. Um polígono de bairro não é apenas uma forma geométrica; ele pode conter nome, código, população, renda média, área, densidade, cobertura vegetal, temperatura média, percentual de impermeabilização e acesso a equipamentos urbanos. Uma célula raster não é apenas um quadrado em uma matriz; ela possui valor, resolução, localização e relação com células vizinhas. O dado espacial, portanto, combina geometria e atributo.

Essa combinação exige bancos de dados capazes de armazenar, organizar e recuperar informações espaciais. A ligação entre geometria e atributos é uma das bases dos SIG. Câmara, Davis e Monteiro (2001) discutem a estratégia dual, na qual atributos são armazenados em tabelas de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados e vinculados às representações geométricas por identificadores. Lacerda (2025) retoma essa lógica ao explicar que, na UrbVerde, atributos descritivos e dados espaciais são organizados em banco relacional, com identificadores únicos que permitem a ligação lógica entre tabelas e geometrias vetoriais ou matriciais.

Essa estrutura altera a própria natureza da informação cartográfica. No mapa analógico, a legenda informa o significado dos símbolos. No SIG, a legenda é apenas uma camada visível de um sistema mais amplo de atributos, relações e consultas. O usuário pode clicar em uma área, acessar seus dados, filtrar objetos, ordenar valores, comparar regiões, exportar tabelas e produzir novas classificações. O mapa deixa de ser apenas representação simbólica e passa a ser interface para uma base relacional (figura 20).

Figura 20 - Raster, vetor e atributo



2.4. Sobreposição de camadas e análise espacial

Uma das operações mais emblemáticas dos SIG é a sobreposição de camadas. A sobreposição existia antes da computação, especialmente em práticas de planejamento territorial que utilizavam mapas transparentes para comparar informações. No entanto, o SIG altera radicalmente essa operação, pois permite automatizar cruzamentos, gerar novas classes, calcular áreas de interseção, identificar combinações de critérios e repetir análises em diferentes escalas e recortes territoriais.

A sobreposição é mais do que uma técnica. Ela expressa uma forma de raciocínio espacial. Ao sobrepor camadas, o usuário não apenas coloca mapas uns sobre os outros; ele produz relações entre fenômenos. Vegetação, temperatura, renda, drenagem, uso do solo, equipamentos públicos e limites administrativos deixam de ser temas isolados e passam a compor uma análise integrada. O território aparece como combinação de dimensões. É nesse sentido que o SIG permite ir além da visualização: ele torna possível produzir sínteses analíticas.

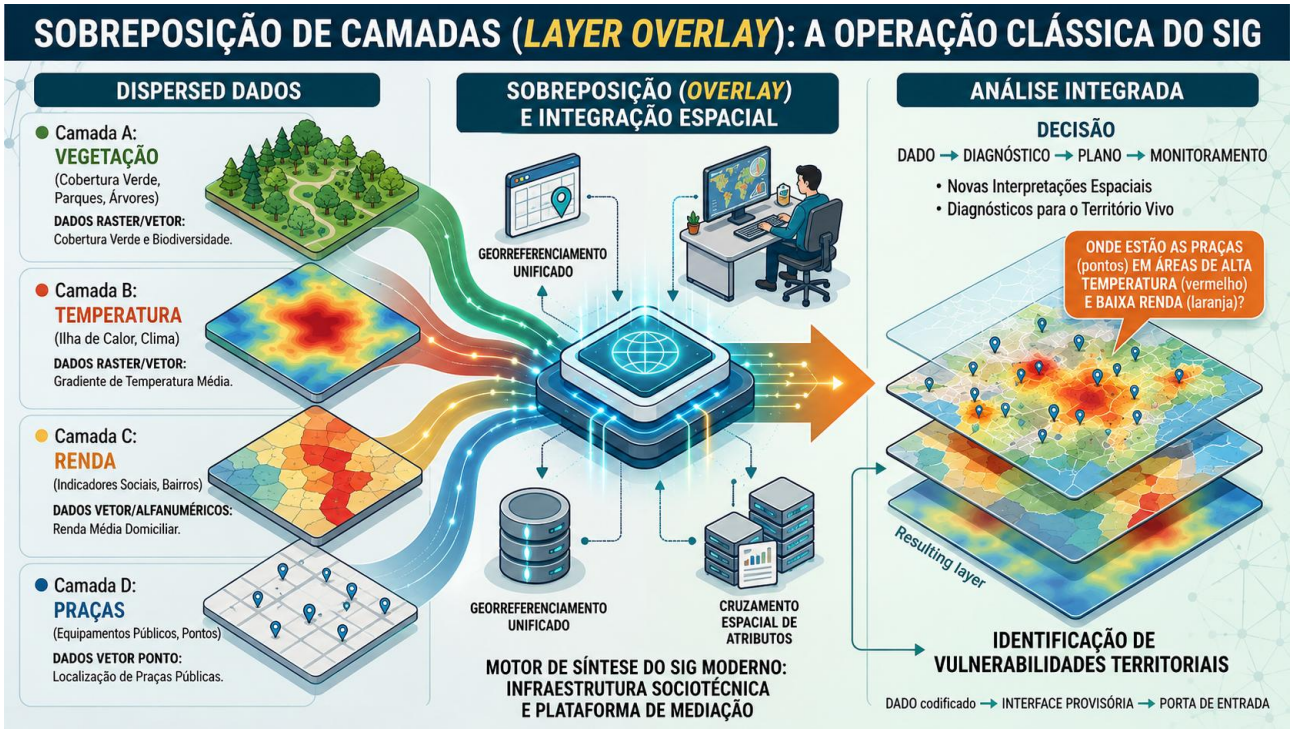
No TCC de Lacerda, as funcionalidades fundamentais dos SIG incluem consulta e seleção espacial, suporte à dimensão temporal, adição de camadas, sobreposição, interação com o mapa, geração de gráficos e tabelas e exportação de resultados. Essa enumeração é importante porque mostra que o SIG não se reduz ao mapa. Ele é um sistema de operações que transforma dados espaciais em análises, visualizações e produtos interpretáveis (LACERDA, 2025).

A sobreposição também revela a dimensão lógica do SIG. Quando duas camadas são cruzadas, o resultado não é apenas visual, mas analítico. Pode-se identificar, por exemplo, onde coincidem baixa cobertura vegetal e alta temperatura de superfície; onde áreas de risco se sobrepõem a assentamentos precários; onde parques e praças estão distantes de áreas de maior vulnerabilidade social; ou onde a impermeabilização do solo se relaciona com problemas de drenagem. A análise espacial permite transformar coexistências territoriais em problemas públicos.

Essa capacidade é muito importante para o planejamento urbano e ambiental. O planejamento raramente depende de uma única variável. Ele exige síntese entre dimensões físicas, ambientais, sociais, econômicas e institucionais. A força do SIG está em permitir que essas dimensões sejam relacionadas espacialmente. No entanto, essa força também exige cuidado: cruzar camadas não significa, automaticamente, explicar processos. A sobreposição revela padrões e correlações, mas a interpretação exige teoria, conhecimento de campo, contexto histórico e compreensão das relações sociais que produziram aqueles padrões.

Por isso, a análise espacial deve ser entendida como mediação, não como conclusão automática. Um mapa de calor, uma superfície de vegetação ou um índice de desigualdade socioambiental não falam por si mesmos. Eles precisam ser interpretados. Essa interpretação depende das perguntas formuladas, das bases utilizadas, dos métodos de processamento, da escala de análise e das hipóteses teóricas que orientam a leitura. O SIG fornece meios poderosos de análise, mas não substitui o pensamento crítico (figura 21).

Figura 21 - Diagrama Sobreposição de camadas: vegetação, temperatura, renda, praças
Mostrar a operação clássica do SIG



2.5. O mapa como interface e não apenas como produto

A mudança mais profunda provocada pelo SIG talvez esteja na transformação do mapa em interface. Na cartografia analógica, o mapa é predominantemente produto final de um processo de levantamento, seleção, generalização e representação. No SIG, o mapa é uma entrada para o sistema. Ele permite navegar, consultar, selecionar, ativar camadas, comparar informações, acessar atributos, visualizar estatísticas, gerar gráficos e exportar resultados.

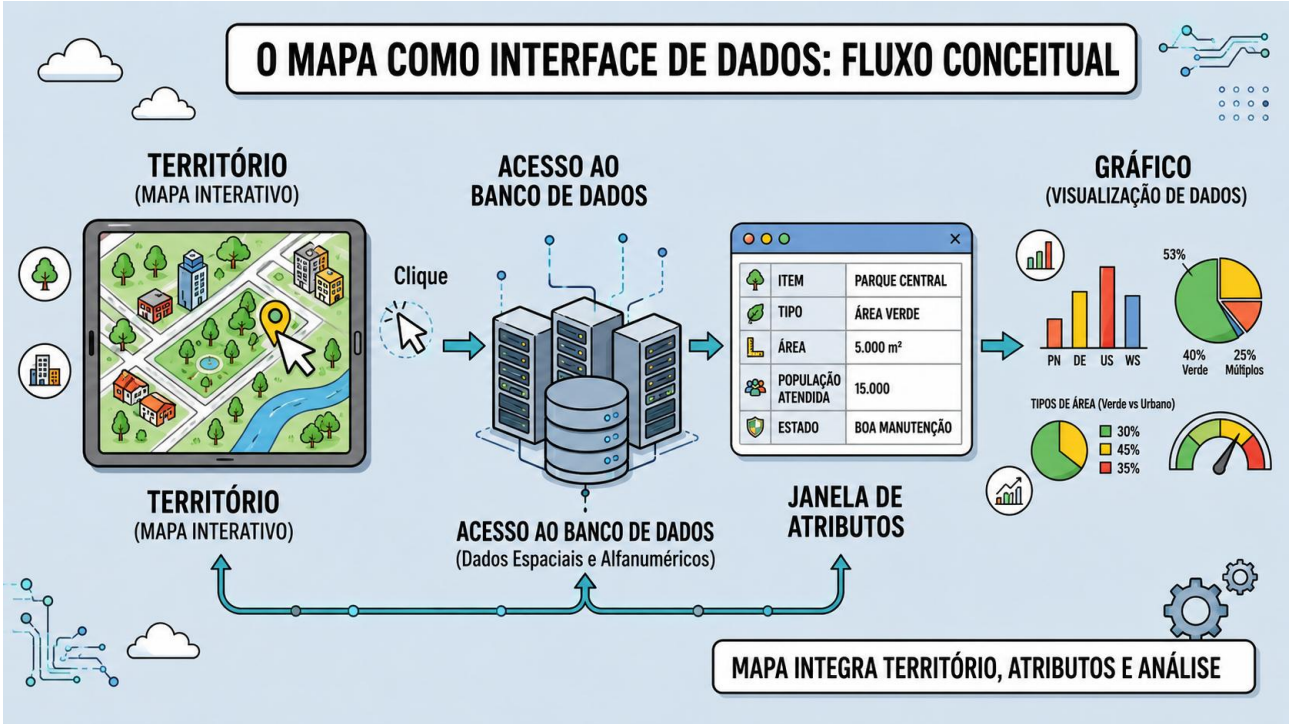
Essa transformação antecipa uma das questões centrais dos WebSIGs contemporâneos. Se o mapa é interface, sua qualidade não pode ser avaliada apenas por critérios cartográficos tradicionais, como precisão, escala, simbologia e legibilidade gráfica. É necessário considerar também usabilidade, acessibilidade, arquitetura de informação, experiência do usuário, clareza de interação, responsividade, linguagem e capacidade de orientar a interpretação. O mapa passa a participar do campo da Interação Humano-Computador.

Esse deslocamento é fundamental para o argumento deste livro. A interface não é apenas acabamento visual. Ela organiza a forma como o usuário encontra, compreende e interpreta a informação. Uma camada mal nomeada, uma legenda confusa, um indicador pouco explicado, uma navegação difícil ou um excesso de informações simultâneas podem bloquear a apropriação social dos dados. Do mesmo modo, uma interface clara pode reduzir a distância entre especialistas e usuários não técnicos.

Lacerda (2025) mostra que a reestruturação da UrbVerde partiu justamente dessa preocupação: aplicar princípios de Interação Humano-Computador, Design Thinking, Double Diamond, usabilidade, linguagem simples e humanismo de dados para reduzir a barreira técnico-científica dos SIG e ampliar a democratização da análise geoespacial. O objetivo não era apenas melhorar a aparência da plataforma, mas tornar a informação territorial mais compreensível, navegável e utilizável por gestores públicos, estudantes, professores e cidadãos.

Nesse sentido, o mapa como interface desloca a pergunta central da cartografia. Não basta perguntar se o mapa está correto. É preciso perguntar se o usuário consegue compreender o que ele mostra, se consegue saber o que fazer a partir dele, se entende os indicadores, se percebe as relações entre camadas, se consegue comparar territórios e se pode transformar a informação visual em interpretação. O WebSIG do século XXI radicaliza essa mudança: o mapa deixa de ser produto final e se torna ambiente de conhecimento(figura 22).

Figura 22 - O mapa como interface



2.6. A mudança ontológica da cartografia

A passagem do mapa ao sistema pode ser chamada de mudança ontológica porque altera aquilo que o mapa é. O mapa deixa de ser apenas uma representação gráfica e passa a ser uma manifestação de uma base de dados georreferenciada. Ele não é mais apenas uma imagem do território, mas uma janela para um conjunto de relações computacionais. Essa mudança transforma a relação entre ver, medir, interpretar e decidir.

Na cartografia analógica, ver e interpretar estavam mais diretamente associados à leitura da imagem cartográfica. No SIG, ver é apenas uma etapa. O usuário pode medir distâncias, calcular áreas, consultar atributos, selecionar objetos, aplicar filtros, cruzar camadas, gerar estatísticas, simular cenários e produzir novas representações. O mapa deixa de ser estabilizado e passa a ser operável. A cartografia torna-se procedimento.

Essa mudança altera também o estatuto do conhecimento espacial. O conhecimento deixa de depender apenas da leitura de um documento cartográfico e passa a depender da interação com um sistema. A interpretação passa a ser mediada por bancos de dados, modelos, algoritmos, filtros, consultas e interfaces. Isso amplia o poder analítico, mas também introduz novas camadas de mediação técnica. O usuário não lida diretamente com o território, mas com uma arquitetura computacional que o representa.

Câmara, Monteiro e Medeiros (2003) ajudam a compreender essa transformação ao afirmar que diferentes teorias do espaço podem servir de ponto de partida para os fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação e para a concepção de uma nova geração de SIG. O problema central não é

apenas técnico, mas conceitual: que tipo de espaço está sendo representado? A unidade-área? A superfície? A rede? O processo? O sistema de objetos? O sistema de ações? Cada resposta implica diferentes estruturas de dados, modelos e formas de análise.

A mudança ontológica da cartografia, portanto, não significa que o mapa desapareça. Significa que o mapa passa a existir dentro de um sistema maior. Ele se torna uma forma de visualização entre outras. A cartografia deixa de ser apenas arte e técnica de representação visual e passa a integrar uma ciência computacional do espaço. Essa integração, contudo, não elimina a necessidade de reflexão crítica. Ao contrário, torna-a ainda mais necessária.

2.7. O risco da reificação geográfica

A capacidade dos SIG de representar, cruzar e analisar dados espaciais pode produzir uma ilusão de objetividade absoluta. Como as informações aparecem em mapas precisos, cores graduadas, limites definidos, coordenadas exatas e indicadores numéricos, o usuário pode ser levado a acreditar que está diante da própria realidade. Esse é o risco da reificação geográfica: confundir a representação computacional com o território representado.

Câmara, Monteiro e Medeiros (2003) nomeiam explicitamente esse problema. Para os autores, muitos usuários de SIG acabam tomando as estruturas computacionais pela realidade, sem consciência de suas limitações. Essa advertência lembra que todo SIG é uma construção. Ele depende de escolhas sobre escala, projeção, fonte de dados, classificação, resolução, método de interpolação, unidade espacial, generalização, atualização, simbologia e modelo de representação.

Um polígono não é um bairro; é uma representação de um bairro. Uma grade de temperatura não é o calor vivido por uma população; é uma estimativa espacial derivada de sensores, imagens, modelos e procedimentos. Um indicador de cobertura vegetal não é a experiência cotidiana da sombra, da praça ou da arborização; é uma medida construída a partir de determinadas bases e critérios. Uma linha de rio não é o rio enquanto processo hidrológico, ecológico, histórico e social; é sua representação geométrica em uma escala específica.

Essa distinção é fundamental para evitar o tecnicismo. O SIG permite representar o espaço, mas não esgota o espaço. Ele permite medir fenômenos, mas não substitui sua interpretação. Ele permite identificar padrões, mas não explica sozinho os processos que os produziram. Ele permite apoiar decisões, mas não elimina conflitos sociais, interesses políticos ou disputas territoriais. A representação computacional é uma mediação poderosa, mas continua sendo uma mediação.

O risco da reificação é particularmente relevante no contexto dos WebSIGs. Quanto mais acessível, visual e interativa se torna a plataforma, maior pode ser a sensação de transparência: tudo parece estar ali, disponível, visível e objetivo. Mas uma interface amigável não elimina as escolhas metodológicas que estruturam os dados. Ao contrário, pode torná-las menos perceptíveis. Por isso, o WebSIG do século XXI precisa combinar usabilidade com transparência metodológica. Deve ser fácil de usar, mas não simplista; acessível, mas não opaco; visualmente claro, mas conceitualmente rigoroso (figura 23).

Figura 23 - Risco da reificação geográfica: o mapa mostra, mas não esgota o território



2.8. Do sistema cartográfico ao sistema de conhecimento territorial

A passagem do mapa ao sistema permite compreender a trajetória que conduz aos WebSIGs contemporâneos. O SIG clássico transformou a cartografia em sistema de informação. O WebSIG amplia essa transformação ao tornar o sistema acessível pela internet, integrando mapas, bancos de dados, gráficos, painéis, textos explicativos, downloads, APIs e ferramentas de interação. No entanto, a questão central permanece: como transformar representação espacial em conhecimento territorial? O mapa digital, por si só, não garante conhecimento. Para que a geoinformação produza inteligência territorial, é necessário articular dados confiáveis, modelos adequados, interfaces compreensíveis, perguntas públicas relevantes e capacidade de interpretação. Um WebSIG voltado às políticas públicas precisa permitir que gestores e cidadãos compreendam não apenas onde estão os fenômenos, mas como eles se relacionam, que desigualdades revelam, que prioridades sugerem e que ações podem orientar.

A experiência da UrbVerde é exemplar nesse sentido. A plataforma não se limita a mostrar mapas ambientais. Ela busca organizar indicadores socioambientais capazes de apoiar planejamento urbano, adaptação climática e redução das desigualdades territoriais. Ao relacionar vegetação, temperatura de superfície, áreas verdes, impermeabilização e outros indicadores, a UrbVerde aponta para um uso público do SIG: transformar dados espaciais em diagnóstico, interpretação e ação. Como observa Lacerda (2025), a evolução dos SIGs do futuro deve caminhar para incorporar dimensões humanas, sociais e culturais em sua estrutura tecnológica. Esse deslocamento é importante para o WebSIG do século XXI. Não basta disponibilizar camadas. É preciso construir sentido. Não basta permitir zoom, pan e clique. É preciso orientar leitura, comparação e interpretação. Não basta processar dados em

larga escala. É preciso conectar esses dados a problemas sociais concretos. O mapa como interface deve se transformar em plataforma de conhecimento territorial (figura 24).

Figura 24 - Quadro-síntese: do mapa-produto ao mapa-sistema



2.9. Considerações finais

A passagem da cartografia analógica ao SIG representou uma mudança importante na história da representação espacial. O mapa deixou de ser apenas produto gráfico final e passou a integrar bancos de dados, geometrias, atributos, grades, vetores, consultas e algoritmos. Essa transformação ampliou a capacidade de cruzamento, atualização, modelagem e análise espacial.

Mas essa potência técnica trouxe uma advertência epistemológica. Ao converter o espaço em dado, o SIG produz uma forma específica de conhecer o território. Essa forma é poderosa, mas parcial: depende de modelos de representação, estruturas de dados, métodos de análise e escolhas conceituais. Por isso, a Ciência da Geoinformação não pode ser reduzida ao domínio de softwares; ela exige reflexão sobre o que é representado, como é representado e quais dimensões permanecem invisíveis.

O SIG não é apenas um mapa no computador. Ele inaugura uma nova condição da cartografia: o mapa como interface, o território como banco de dados e a representação espacial como problema epistemológico. Essa reflexão prepara a próxima parte do livro, dedicada às bases conceituais da geoinformação e à pergunta sobre que tipos de espaço cabem nas representações computacionais.

Referências bibliográficas

BURROUGH, Peter A.; MCDONNELL, Rachael A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

DE BY, Rolf A. (ed.). **Principles of Geographic Information Systems: an introductory textbook**. 2. ed. Enschede: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 2001.

GOODCHILD, Michael F. **Geographical information science**. *International Journal of Geographical Information Systems*, v. 6, n. 1, p. 31-45, 1992.

HARLEY, John Brian. **Deconstructing the map**. *Cartographica*, v. 26, n. 2, p. 1-20, 1989.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

LONGLEY, Paul A.; GOODCHILD, Michael F.; MAGUIRE, David J.; RHIND, David W. **Geographic Information Science and Systems**. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2015.

MONMONIER, Mark. **How to Lie with Maps**. 2. ed. Chicago: University of Chicago Press, 1996.

Parte II - Epistemologia da geoinformação: que espaço cabe dentro de um SIG?

Todo Sistema de Informação Geográfica carrega uma teoria do espaço, mesmo quando essa teoria permanece implícita. Ao representar o território por pontos, linhas, polígonos, grades, redes, superfícies, matrizes, atributos ou bancos de dados, o SIG não apenas organiza informações: ele define previamente que tipo de realidade pode ser vista, medida, cruzada, modelada e interpretada. Essa constatação é importante para a Ciência da Geoinformação, pois indica que um SIG nunca é apenas uma ferramenta técnica. Ele é também uma forma de pensamento espacial, uma maneira específica de traduzir o mundo em estruturas computacionais, com todas as potências e limites que essa tradução implica (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003) (figura 25).

Figura 25 - Que espaço cabe no SIG?



A Parte I deste livro mostrou que os SIG nasceram quando o território excedeu a capacidade humana de processamento manual. Mapas, inventários, fichas, classificações e levantamentos territoriais precisavam ser organizados em sistemas capazes de cruzar dados e apoiar decisões. Entretanto, uma vez convertido em sistema, o mapa deixou de ser apenas representação visual e passou a operar como interface de bancos de dados georreferenciados. Essa mudança técnica, discutida nos capítulos anteriores, conduz agora a uma pergunta mais profunda: **que espaço é esse que o SIG consegue representar?** Ou, dito de outra forma: **que dimensões do espaço cabem dentro de um sistema computacional e quais permanecem fora dele?**

Essa pergunta constitui o núcleo epistemológico deste livro. A Ciência da Geoinformação não pode ser reduzida ao domínio operacional de softwares, bancos de dados, linguagens de programação ou

técnicas de geoprocessamento. Ela exige uma reflexão sobre os fundamentos conceituais que sustentam a representação computacional do espaço. Câmara, Monteiro e Medeiros afirmam que a rápida evolução tecnológica dos SIG, desde a década de 1970, não foi acompanhada por um avanço equivalente em suas bases conceituais, o que dificultou a consolidação da Geoinformação como disciplina científica autônoma. Para os autores, o conceito de espaço geográfico deve ser tomado como noção-chave para a construção dos fundamentos teóricos dessa área (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

O problema é que o espaço geográfico não possui uma única definição. Ao longo da história da Geografia, diferentes escolas propuseram formas distintas de compreendê-lo. A Geografia Regional e idiográfica enfatizou a singularidade das áreas e a integração de características próprias de cada porção do território. A Geografia Quantitativa privilegiou padrões, modelos, superfícies, redes, estatística espacial, autocorrelação e possibilidade de generalização. A Geografia Crítica, por sua vez, deslocou a atenção para os processos sociais, as relações de produção, os conflitos, os fluxos, as ações e as estruturas históricas que produzem o espaço (HARTSHORNE, 1966; HARVEY, 1969; SANTOS, 1978; SANTOS, 1985; SANTOS, 1996; CASTELLS, 1999; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Cada uma dessas concepções de espaço encontra correspondências, mais ou menos adequadas, nas representações computacionais. A unidade-área da Geografia Regional dialoga com o polígono fechado associado a atributos armazenados em bancos de dados relacionais. A Geografia Quantitativa encontra expressão em superfícies, grades regulares, malhas triangulares, redes, matrizes de interação espacial e modelos estatísticos. Já a Geografia Crítica apresenta o maior desafio para os SIG tradicionais, pois exige representar processos, ações, intencionalidades, normas, conflitos, temporalidades, usos e relações sociais que não se deixam reduzir facilmente a geometrias estáticas (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa distinção é essencial para compreender os limites do SIG cartográfico. A atual geração de SIG representou com grande eficiência objetos espaciais, unidades territoriais, superfícies contínuas e redes de conexão. Ela permitiu avanços notáveis na análise ambiental, urbana, regional e territorial. Contudo, como assinalam Câmara, Monteiro e Medeiros, os SIG ainda apresentam dificuldades para capturar a natureza dinâmica dos processos espaciais, sobretudo quando esses processos envolvem ações sociais, transformações históricas, disputas políticas e relações simbólicas. Os autores afirmam que muitos fenômenos - como escoamento da água da chuva, planejamento urbano ou dispersão de sementes - são inerentemente dinâmicos e não são adequadamente capturados por representações estáticas (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

A reflexão epistemológica torna-se ainda mais necessária diante do risco da reificação geográfica. Como os computadores são ferramentas de representação da realidade, as estruturas de dados e algoritmos disponíveis condicionam a forma como os problemas geográficos podem ser expressos computacionalmente. Quando o usuário toma a estrutura computacional como se ela fosse a própria realidade, perde de vista que todo mapa, camada, grade, polígono, índice ou modelo é uma construção parcial. Câmara, Monteiro e Medeiros chamam esse efeito de "reificação geográfica": a tendência de

confundir a representação computacional com o espaço geográfico em sua complexidade concreta (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Por isso, esta parte do livro propõe uma inflexão teórica. Se os capítulos anteriores discutiram o nascimento dos SIG e a passagem do mapa ao sistema, os próximos capítulos investigam o tipo de pensamento espacial incorporado por esses sistemas. A pergunta "que espaço cabe dentro de um SIG?" não busca uma resposta simples. Ela pretende mostrar que o SIG é capaz de representar algumas dimensões do espaço com grande precisão, mas também tende a reduzir ou obscurecer outras. O polígono representa a delimitação, mas não necessariamente o conflito. A superfície representa a variação espacial, mas não necessariamente a experiência vivida. A rede representa fluxos, mas não necessariamente as relações sociais que lhes dão sentido. O banco de dados armazena atributos, mas não substitui o processo histórico que produziu esses atributos.

O Capítulo 3, **"Representações computacionais do espaço: da unidade-área aos processos sociais"**, constitui o coração teórico desta parte. Ele parte da hipótese de que diferentes concepções de espaço produzem diferentes formas de representação computacional. A unidade-área, associada à tradição regional e idiográfica, será discutida como base para a representação por polígonos e atributos. A Geografia Quantitativa será analisada a partir de superfícies, redes, estatística espacial e modelos. A Geografia Crítica será apresentada como o campo que tensiona os limites da atual geração de SIG, pois exige pensar objetos e ações, fixos e fluxos, forma e processo, materialidade e prática social (SANTOS, 1978; SANTOS, 1985; SANTOS, 1996; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa discussão também permite recolocar o pensamento de Milton Santos no centro da Ciência da Geoinformação. Câmara, Monteiro e Medeiros observam que, embora Santos não tenha examinado diretamente o uso de ferramentas como SIG nos estudos geográficos, seus conceitos são extremamente relevantes para a definição de uma epistemologia da geoinformação. A noção de espaço como relação entre forma, função, estrutura e processo; como sistema de fixos e fluxos; e, sobretudo, como sistema de objetos e sistema de ações, oferece uma base poderosa para pensar os limites e possibilidades das novas gerações de SIG (SANTOS, 1978; SANTOS, 1985; SANTOS, 1996; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

O Capítulo 4, **"O SIG do futuro: Geografia Crítica, objetos, ações e relações sociais"**, aprofunda essa transição. A ideia de um "SIG do futuro" não deve ser entendida como previsão tecnológica fechada, mas como programa teórico e político de superação das limitações da geração cartográfica dos SIG. O desafio é construir sistemas capazes de lidar não apenas com formas espaciais, mas com processos; não apenas com objetos, mas com ações; não apenas com localizações, mas com relações. Lacerda, ao retomar Câmara e o pensamento miltoniano, observa que a próxima evolução do geoprocessamento exige superar a lógica cartográfica estática e incorporar a complexidade do espaço geográfico não estático, incluindo componentes da realidade social construídos em processos jurídicos, culturais e institucionais (LACERDA, 2025).

Nesse sentido, se os SIG clássicos foram construídos para armazenar, consultar e cruzar dados espaciais, os WebSIGs contemporâneos precisam também comunicar, traduzir, explicar, contextualizar e democratizar a interpretação do território. Mas a democratização só será efetiva se estiver apoiada em

uma reflexão epistemológica rigorosa. Não basta tornar os mapas mais bonitos, rápidos ou interativos. É necessário perguntar que concepção de espaço orienta a plataforma, que relações ela permite enxergar, que processos ela torna visíveis e que dimensões ela ainda não consegue representar.

Essa parte do livro, portanto, prepara o argumento central das partes seguintes. O WebSIG do século XXI precisa ser mais do que um sistema cartográfico publicado na internet. Ele deve caminhar em direção a uma infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial, capaz de articular dados, usuários, instituições, políticas públicas e processos sociais. Para isso, precisa reconhecer seus próprios limites representacionais. Um SIG social, crítico e voltado à ação pública não pode esconder sua teoria do espaço: deve explicitá-la, debatê-la e aperfeiçoá-la continuamente.

A pergunta "que espaço cabe dentro de um SIG?" é, assim, também uma pergunta sobre democracia, planejamento e justiça territorial. Se o SIG representa apenas objetos, pode favorecer leituras tecnocráticas do território. Se representa também processos, relações e desigualdades, pode contribuir para a produção de diagnósticos mais críticos e políticas públicas mais justas. A epistemologia da geoinformação não é, portanto, uma discussão abstrata ou distante da prática. Ela define o que os sistemas deixam ver, o que ajudam a compreender e o que podem apoiar transformar.

Referências bibliográficas

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

CASTELLS, Manuel. **A sociedade em rede**. São Paulo: Paz e Terra, 1999.

CHORLEY, Richard J.; HAGGETT, Peter. **Models in Geography**. London: Methuen, 1967.

GOODCHILD, Michael F. **A spatial analytic perspective on geographical information systems**. *International Journal of Geographical Information Systems*, v. 1, n. 4, p. 327-334, 1987.

HARTSHORNE, Richard. **Propósitos e natureza da geografia**. São Paulo: Hucitec, 1966.

HARVEY, David. **Explanation in Geography**. New York: St. Martin's Press, 1969.

HARVEY, David. **The Condition of Postmodernity**. London: Basil Blackwell, 1989.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

SANTOS, Milton. **Por uma geografia nova: da crítica da geografia a uma geografia crítica**. São Paulo: Hucitec, 1978.

SANTOS, Milton. **Espaço e método**. São Paulo: Nobel, 1985.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

Capítulo 3 - Representações computacionais do espaço: da unidade-área aos processos sociais

Todo Sistema de Informação Geográfica carrega uma teoria do espaço, mesmo quando essa teoria permanece implícita. Ao representar o território por pontos, linhas, polígonos, grades, redes, superfícies, atributos ou bancos de dados, o SIG não apenas organiza informações: ele define previamente aquilo que pode ser visto, medido, cruzado, modelado e interpretado. Essa constatação mostra que um SIG nunca é apenas uma ferramenta técnica. Ele é também uma forma de pensamento espacial, uma maneira específica de traduzir o mundo em estruturas computacionais, com todas as potências e limitações que essa tradução envolve (quadro 3).

Quadro 3 - Concepções de espaço e representações computacionais

Corrente Geográfica / Teoria da Geografia	Concepção de Espaço	Representação Computacional Principal	Exemplos Aplicados em SIG	Limites Epistemológicos (O que fica de fora)
Geografia Idiográfica / Regional	O espaço é visto sob a ótica da singularidade das áreas, focando na descrição detalhada e na diferenciação de regiões delimitadas.	**Modelo Vetorial Clássico**: Entidades discretas representadas por pontos, linhas e polígonos associadas a tabelas de atributos alfanuméricos.	Divisões político-administrativas, limites de municípios, bairros, quadras, lotes urbanos ou equipamentos públicos.	Reduz o território a uma lógica estática e puramente descritiva ; falha em capturar processos históricos, dinâmicas sociais e os fluxos que dão vida a essas divisões.
Geografia Quantitativa / Nova Geografia	O espaço é concebido como uma superfície abstrata regida por geometrias, padrões mensuráveis, distâncias e distribuições espaciais.	**Modelo Raster / Grades e Redes**: Matrizes de células (pixels), estatística espacial, modelos numéricos de interpolação e grafos de conectividade.	Mapas de declividade, modelos digitais de elevação (altitude), superfícies de temperatura (ilhas de calor) e redes de transporte.	Reduz a realidade a relações matemáticas de distância euclidiana, proximidade ou adjacência ; ignora as ações, os conflitos e os processos socioeconômicos que geram esses padrões.
Geografia Crítica e Social	O espaço é compreendido como uma totalidade socioespacial e histórica, definida como um "sistema de objetos e sistema de ações" (Milton Santos). Articula o espaço de fluxos e o espaço de lugares.	**Ontologias Geográficas e Modelos Dinâmicos**: Representações focadas em processos, interações relacionais, fluxos, simulações espaciais e plataformas sociotécnicas (WebSIG Social).	Mapeamento interativo de vulnerabilidade climática urbana, redes de transporte de recursos, fluxos socioeconômicos e cartografia participativa / Ciência Cidadã (VGI).	Toda modelagem computacional exige um processo de formalização técnica que gera redução. Aspectos vividos do território - como medo, pertencimento, memória, precariedade informal e subjetividades - nunca cabem inteiros no sistema.

Como resume a própria obra, a pergunta central da disciplina - “que espaço cabe no SIG?” - encontra uma resposta que exige humildade metodológica: cabem muitos espaços, mas nunca o espaço inteiro. O

sistema é capaz de modelar e processar a geometria e o dado, mas a leitura crítica, o contexto histórico e a interpretação política continuam sendo uma tarefa essencialmente humana e social.

É nesse sentido que Câmara, Monteiro e Medeiros propõem uma reflexão epistemológica fundamental: a Ciência da Geoinformação deve tomar o conceito de espaço geográfico como noção-chave para pensar suas bases teóricas. Para os autores, a tecnologia de SIG evoluiu rapidamente a partir da década de 1970, mas essa evolução não foi acompanhada por um avanço equivalente em seus fundamentos conceituais. O resultado foi a consolidação de um campo marcado por grande sofisticação técnica, mas também por dificuldades teóricas, uma vez que muitos cursos, livros e aplicações foram organizados em torno de sistemas específicos, e não de conceitos gerais capazes de sustentar a disciplina (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

A questão central deste capítulo é, portanto, a seguinte: **que tipo de espaço cabe dentro de um SIG?** A resposta não é simples, porque o espaço geográfico foi concebido de maneiras distintas ao longo da história da Geografia. A Geografia idiográfica e regional enfatizou a singularidade das áreas; a Geografia Quantitativa privilegiou padrões, modelos, superfícies e redes; a Geografia Crítica deslocou a atenção para processos sociais, ações, fluxos, conflitos e relações históricas. Cada uma dessas concepções produziu, explicitamente ou não, uma forma diferente de representação computacional.

3.1. A necessidade de fundamentos conceituais para a Ciência da Geoinformação

A Ciência da Geoinformação ocupa uma posição interdisciplinar. Ela reúne contribuições da Geografia, da Computação, da Cartografia, do Planejamento Urbano, da Engenharia, da Estatística, do Sensoriamento Remoto, das Ciências Ambientais e das Políticas Públicas. Essa condição é uma força, pois permite que o campo dialogue com diferentes problemas territoriais. Mas também é uma fragilidade, pois dificulta a construção de um corpo conceitual próprio, capaz de orientar a produção, a interpretação e o uso de dados geográficos.

Câmara, Monteiro e Medeiros argumentam que, para estabelecer as bases epistemológicas da Ciência da Geoinformação, é preciso identificar as fontes teóricas capazes de sustentar a reflexão sobre o espaço. Os autores propõem tomar o espaço geográfico como conceito estruturante, comparando diferentes concepções de espaço com suas possíveis representações computacionais. Essa proposta desloca o debate: não se trata apenas de perguntar que software usar, que banco de dados adotar ou que algoritmo aplicar, mas de compreender que conceito de espaço está sendo materializado em cada estrutura computacional (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa discussão é fundamental porque computadores não são instrumentos neutros de espelhamento da realidade. Eles são ferramentas de representação. As estruturas de dados, os modelos geométricos, os algoritmos de análise e as interfaces disponíveis em cada momento histórico condicionam a forma como os problemas geográficos podem ser expressos. Um fenômeno só pode ser processado por um SIG se for traduzido em alguma estrutura computacional: ponto, linha, polígono, grade, rede, superfície, tabela, fluxo, regra, classe, objeto, evento ou processo.

Essa tradução nunca é inocente. Ao transformar uma favela em polígono, uma árvore em ponto, uma enchente em mancha, uma ilha de calor em raster, um deslocamento em linha ou uma desigualdade em

índice, o sistema seleciona aspectos da realidade e deixa outros de fora. Essa seleção pode ser necessária e metodologicamente rigorosa, mas precisa ser reconhecida. O risco está em tomar a representação como se fosse a própria realidade, o que Câmara, Monteiro e Medeiros chamam de "reificação geográfica" (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

A epistemologia da geoinformação começa, assim, com um gesto de humildade: reconhecer que todo SIG é uma aproximação. Ele amplia a capacidade de análise, mas não captura a totalidade do espaço. Ele permite cruzar dados, medir distâncias, calcular áreas, modelar superfícies e representar redes, mas não substitui a interpretação teórica, o trabalho de campo, a leitura histórica, a análise social e a compreensão política do território.

3.2. Geografia idiográfica: unidade-área, polígonos e atributos

A primeira grande concepção de espaço discutida por Câmara, Monteiro e Medeiros é a Geografia idiográfica, especialmente a partir de Hartshorne. Nessa tradição, o espaço geográfico é compreendido a partir da singularidade das áreas. O objeto da Geografia seria o estudo de fenômenos individuais e das relações específicas entre fenômenos em determinados lugares. O conceito central é o de "unidade-área": uma partição do espaço definida pelo pesquisador em função do objeto de estudo e da escala de análise, dotada de características próprias que a diferenciam das demais (HARTSHORNE, 1966; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

A unidade-área é uma forma poderosa de organizar o espaço. Ela permite dividir o território em partes relativamente homogêneas ou significativas, atribuindo a cada uma delas um conjunto de características. Um bairro, um município, uma bacia hidrográfica, uma unidade de conservação, uma zona de planejamento, um setor censitário ou uma área de risco podem funcionar como unidades de análise. Cada unidade é delimitada espacialmente e descrita por atributos.

Do ponto de vista computacional, essa concepção encontra sua representação mais direta no polígono fechado associado a uma tabela de atributos. A geometria delimita a área; a tabela descreve suas características. O SIG permite, então, consultar unidades por seus atributos, selecionar unidades por localização, comparar valores entre áreas, cruzar limites e construir novas classificações. Câmara, Monteiro e Medeiros mostram que a proposta de Hartshorne forneceu uma base metodológica importante para o uso da unidade de área em geoprocessamento, uma vez que a representação computacional correspondente é justamente o polígono associado a atributos armazenados em banco de dados relacional (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa lógica é amplamente utilizada em plataformas contemporâneas. Na UrbVerde, por exemplo, muitos indicadores socioambientais são associados a unidades territoriais como municípios, bairros, distritos ou setores censitários. O Percentual de Cobertura Vegetal, o Índice de Cobertura Vegetal, a impermeabilização do solo, a temperatura de superfície ou a distância a parques e praças podem ser calculados, agregados e apresentados por unidades espaciais. A análise torna-se possível porque o espaço é dividido em entidades delimitadas e comparáveis.

A força dessa representação está em sua clareza. Polígonos e atributos permitem organizar o território de modo inteligível, produzir indicadores, comparar áreas e apoiar políticas públicas. A gestão

municipal, os planos diretores, o planejamento ambiental, os cadastros territoriais e os diagnósticos socioespaciais dependem amplamente dessa forma de representação. Ela é especialmente útil quando o problema exige classificação, comparação e monitoramento de unidades territoriais.

Mas essa representação também possui limites. A unidade-área sugere estabilidade e delimitação, enquanto muitos fenômenos sociais e ambientais são fluidos, graduais, conflitivos ou atravessam limites administrativos. Uma ilha de calor não respeita necessariamente o limite de um bairro. A experiência cotidiana de acesso a uma praça não se limita ao setor censitário. Uma bacia hidrográfica pode atravessar vários municípios. Uma rede de trabalho, cuidado ou mobilidade pode conectar lugares distantes. O polígono organiza, mas também simplifica.

Além disso, as unidades territoriais podem produzir efeitos estatísticos e interpretativos importantes. O modo como se delimita a área altera os resultados da análise. Dados agregados por município podem esconder desigualdades internas; dados por setor censitário podem revelar padrões mais finos, mas também gerar fragmentação excessiva. Essa questão, conhecida na literatura como problema da unidade espacial modificável, mostra que a representação por unidades não é apenas técnica, mas também metodológica e política (OPENSHAW, 1984).

Portanto, a Geografia idiográfica e sua representação por unidades-área continuam fundamentais para os SIG, mas não esgotam a complexidade do espaço. Elas respondem bem à pergunta "quais são as características desta área?", mas têm mais dificuldade para responder "quais processos produziram esta configuração?", "quais fluxos atravessam esta unidade?" ou "como esta área se transforma ao longo do tempo?" (figura 26).

Figura 26 - Geografia idiográfica: unidade-área, polígono, atributos



3.3. Geografia quantitativa: superfícies, redes, estatística espacial e modelos

A Geografia Quantitativa desloca o foco da singularidade das áreas para a análise de padrões espaciais, relações mensuráveis, modelos e generalizações. Inspirada pelo método hipotético-dedutivo e pelo diálogo com as ciências naturais, essa tradição buscou construir explicações geográficas apoiadas em estatística, matemática, modelagem e análise espacial. Em vez de apenas descrever áreas singulares, passou a perguntar como fenômenos se distribuem no espaço, que padrões apresentam, que regularidades podem ser identificadas e que modelos podem explicar tais distribuições (HARVEY, 1969; CHORLEY; HAGGETT, 1967; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa concepção teve forte relação com a evolução dos SIG. A análise de padrões de distribuição espacial, eventos pontuais, áreas, redes, superfícies, autocorrelação espacial, vizinhança, distância, estacionariedade e geoestatística encontrou nos computadores um suporte poderoso. Câmara, Monteiro e Medeiros observam que, com a Geografia Quantitativa, os estudos geográficos passaram a incorporar o computador como ferramenta intrínseca de análise, e que o aparecimento dos primeiros SIG deu grande impulso a essa escola (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Do ponto de vista da representação computacional, a Geografia Quantitativa privilegia sobretudo superfícies e redes. As superfícies representam variações contínuas no espaço: altitude, temperatura, umidade, declividade, concentração de poluentes, densidade populacional, índice de vegetação ou exposição ao risco. No computador, essas superfícies podem aparecer como grades regulares, matrizes raster, modelos digitais de elevação, malhas triangulares ou superfícies interpoladas. As redes, por sua vez, representam conexões: transporte, fluxos de pessoas, mercadorias, energia, água, informação, influência ou acessibilidade.

Câmara, Monteiro e Medeiros afirmam que a forma privilegiada de representação computacional associada à Geografia Quantitativa são as superfícies - correspondentes a grades regulares e malhas triangulares - e as redes, representadas por matrizes de interação espacial. Eles observam ainda que as redes permitem representar fluxos entre localidades, frequentemente por matrizes origem-destino, possibilitando modelos de alocação de recursos, transporte e interação espacial (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa tradição é fundamental para o WebSIG do século XXI. Grande parte dos indicadores ambientais contemporâneos depende de superfícies derivadas de sensoriamento remoto, interpolação, modelagem climática ou processamento em nuvem. A temperatura de superfície, os índices de vegetação, a impermeabilização do solo, a exposição a enchentes, a declividade e a cobertura do solo são frequentemente produzidos como camadas raster ou como superfícies contínuas. Essas camadas permitem superar, em parte, os limites da unidade-área, pois representam gradientes e variações espaciais que não coincidem necessariamente com limites administrativos.

As redes também se tornam elementos centrais. A cidade contemporânea não pode ser compreendida apenas por áreas contíguas. Ela é atravessada por fluxos de transporte, trabalho, consumo, informação, logística, saneamento, energia e cuidado. A acessibilidade a uma praça, a distância até uma escola, o tempo de deslocamento até um equipamento de saúde, a conectividade de uma rede de drenagem ou a circulação de trabalhadores são problemas que exigem representação relacional. Nesse sentido, o espaço relativo, discutido por Harvey, torna-se tão importante quanto o espaço absoluto cartesiano (HARVEY, 1969; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

No entanto, a Geografia Quantitativa também apresenta limites. Sua força está em modelar padrões, correlações e relações mensuráveis; sua fragilidade está em, muitas vezes, não explicar suficientemente os processos sociais que produzem tais padrões. Um mapa de autocorrelação espacial pode mostrar a concentração de vulnerabilidade; uma superfície pode revelar desigualdade térmica; uma rede pode representar fluxos de mobilidade. Mas a interpretação desses resultados exige compreender relações de classe, raça, gênero, mercado imobiliário, ação do Estado, história urbana, políticas públicas e conflitos territoriais.

Câmara, Monteiro e Medeiros observam que muitos fenômenos espaciais são inerentemente dinâmicos e que as representações estáticas utilizadas nos SIG não os capturam adequadamente. Entre os exemplos estão o escoamento da água da chuva, o planejamento urbano e a dispersão de sementes. Para os autores, um dos grandes desafios da Ciência da Geoinformação é desenvolver técnicas e abstrações capazes de representar fenômenos dinâmicos, inclusive por meio de modelos espaço-temporais, sistemas dinâmicos e simulações (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Assim, a Geografia Quantitativa ampliou extraordinariamente a capacidade analítica dos SIG, mas não resolveu o problema da totalidade espacial. Ela permitiu medir melhor, modelar melhor e comparar melhor. Mas o espaço geográfico não é apenas padrão, superfície ou rede. Ele é também processo, ação, intenção, conflito, apropriação, norma e história (figura 27).

Figura 27 - Geografia quantitativa: superfície, rede, estatística espacial



3.4. Geografia crítica: objetos, ações, fluxos, lugares e relações sociais

A Geografia Crítica surge como uma resposta às limitações das abordagens que reduziam o espaço a padrões mensuráveis ou unidades descritivas. Sua crítica principal é que a distribuição dos fenômenos no espaço não pode ser explicada apenas por relações de distância, proximidade, localização ou vizinhança. É preciso compreender os processos sociais, econômicos, políticos e históricos que

produzem essas distribuições. Como observam Câmara, Monteiro e Medeiros, a Geografia Crítica questiona a capacidade da Geografia Quantitativa de explicar os processos socioeconômicos subjacentes aos padrões espaciais e de capturar as ações e intenções dos agentes sociais (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

É nesse ponto que Milton Santos se torna central. Para Santos, o espaço não é apenas uma superfície onde os fenômenos se distribuem. Ele é uma totalidade concreta produzida pela relação entre sistemas de objetos e sistemas de ações. Os objetos são as formas materiais: ruas, edifícios, redes, infraestruturas, equipamentos, rios canalizados, praças, fábricas, plataformas digitais, satélites, sensores, servidores. As ações são os usos, práticas, normas, decisões, políticas, conflitos, fluxos econômicos, estratégias empresariais, movimentos sociais e formas de apropriação que animam esses objetos. O espaço é, portanto, forma e vida, materialidade e prática, configuração e processo (SANTOS, 1996).

Câmara, Monteiro e Medeiros destacam três formulações de Santos especialmente relevantes para a Ciência da Geoinformação: a ideia de que o espaço é organizado pelas relações entre forma, função, estrutura e processo; a noção de fixos e fluxos; e a formulação do espaço como sistema de objetos e sistema de ações. Os autores afirmam que esses conceitos são extremamente relevantes para definir uma epistemologia da Geoinformação, mesmo que Santos não tenha discutido diretamente o uso de SIG em estudos geográficos (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

A primeira formulação - forma, função, estrutura e processo - aponta para uma limitação importante dos SIG. As formas são relativamente fáceis de representar: edifícios, ruas, quadras, limites, rios, áreas verdes, manchas de vegetação. A estrutura também pode ser parcialmente modelada, por exemplo, por redes, padrões de distribuição ou relações entre variáveis. Mas a função e o processo são mais difíceis. Um edifício pode ser representado por um polígono, mas sua função social, sua história, seu uso real e sua transformação ao longo do tempo exigem informações que não se reduzem à geometria. Um bairro pode ser delimitado no mapa, mas os processos de segregação, valorização imobiliária, precarização ou resistência que o produzem não aparecem automaticamente.

Câmara, Monteiro e Medeiros afirmam que as técnicas atuais de geoprocessamento não conseguem resolver plenamente as dualidades forma-função e estrutura-processo. Na atual geração de SIG, é possível caracterizar a forma de organização do espaço e modelar a distribuição geográfica de variáveis, mas não capturar plenamente a função dos componentes nem a natureza dinâmica dos processos de transformação da natureza e da sociedade (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

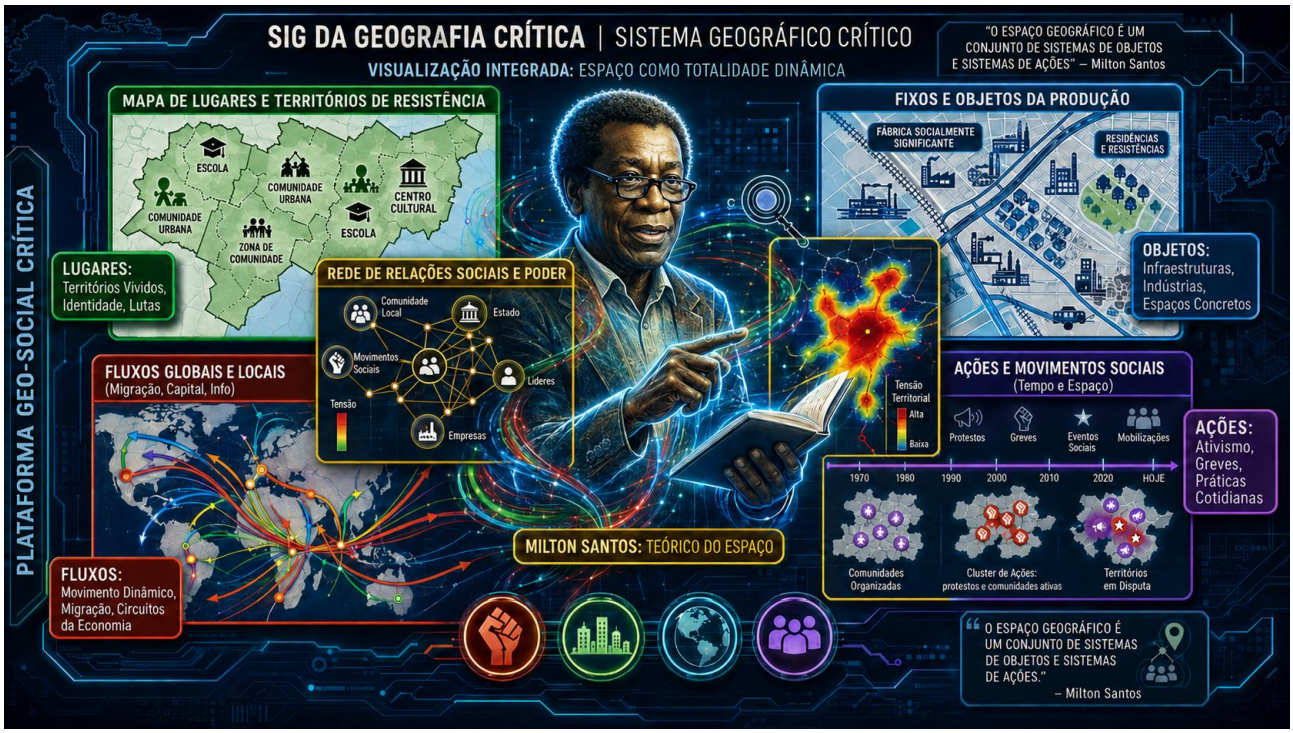
A segunda formulação - fixos e fluxos - também desafia os SIG. Os fixos são objetos relativamente estáveis no território: infraestruturas, equipamentos, edificações, redes técnicas, portos, aeroportos, escolas, praças, hospitais. Os fluxos são movimentos de pessoas, mercadorias, informações, capitais, energia, água, dados e decisões. A cidade contemporânea é constituída pela interação entre fixos e fluxos. Um terminal de ônibus é um fixo, mas seu sentido depende dos fluxos que o atravessam. Uma praça é um fixo, mas sua importância depende dos usos sociais, acessos e relações cotidianas que a animam. Uma plataforma WebSIG é um fixo técnico-informacional, mas seu significado depende dos fluxos de dados, usuários, interpretações e decisões que ela mobiliza.

A terceira formulação - sistemas de objetos e sistemas de ações - é ainda mais desafiadora. Ela exige representar não apenas aquilo que existe no espaço, mas aquilo que age sobre o espaço e por meio dele. Como representar a decisão de um gestor público? Como representar a pressão de um mercado imobiliário? Como representar a organização comunitária em torno de uma praça? Como representar

normas, conflitos, expectativas, usos cotidianos, memórias, inseguranças ou formas de pertencimento? Tais dimensões são fundamentais para a Geografia Crítica, mas difíceis de formalizar em SIG.

Isso não significa que os SIG devam desistir de dialogar com a Geografia Crítica. Significa que precisam reconhecer seus limites e buscar novas formas de aproximação. Ontologias, representação do conhecimento, modelos baseados em agentes, sistemas dinâmicos, bancos de dados espaço-temporais, narrativas geográficas, dados qualitativos georreferenciados, ciência cidadã, cartografia participativa e interfaces interpretativas são caminhos possíveis. Mas todos esses caminhos continuam sendo aproximações, nunca substitutos da complexidade real do espaço.

Figura 28 - Geografia crítica: objetos, ações, fluxos, lugares e relações sociais



3.5. Os limites do SIG cartográfico

O SIG clássico foi extraordinariamente bem-sucedido em representar objetos, atributos, superfícies e redes. No entanto, sua matriz histórica permaneceu fortemente cartográfica. Isso significa que, mesmo quando opera com bancos de dados e algoritmos sofisticados, o SIG frequentemente depende da produção de mapas computacionais. O mapa continua sendo o principal modo de visualização, e as geometrias continuam sendo a base da maior parte das operações.

Câmara, Monteiro e Medeiros afirmam que os sistemas atuais são fortemente baseados em uma lógica cartográfica do espaço, exigindo a construção de mapas computacionais, tarefa custosa e nem sempre adequada ao entendimento do problema estudado. Para os autores, a Geografia Crítica contribui justamente por enfatizar a noção de processo em contraposição à natureza estática dos SIG atuais (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa crítica não significa negar a importância da cartografia. Mapas continuam indispensáveis. O problema é quando o mapa passa a ser confundido com a totalidade do espaço. Muitos processos

territoriais não são adequadamente compreendidos apenas por sua localização. Uma área com baixa cobertura vegetal pode ser mapeada; mas compreender por que ela tem baixa cobertura vegetal exige investigar história urbana, legislação, mercado fundiário, políticas de arborização, desigualdade socioeconômica, padrões de infraestrutura e formas de uso do solo. O mapa revela o problema, mas não o explica sozinho.

O limite cartográfico aparece também na temporalidade. Muitos SIG representam bem o estado de um fenômeno em determinado momento, mas têm mais dificuldade para representar processos em curso. A cidade, entretanto, é processo permanente. A vegetação cresce ou desaparece; a temperatura varia; a drenagem responde a chuvas extremas; a ocupação avança; a renda se desloca; a infraestrutura envelhece; políticas públicas são implementadas ou abandonadas. Representar esses processos exige mais do que uma sequência de mapas: exige modelagem temporal, interpretação histórica e capacidade de leitura dinâmica.

Outro limite está na representação da incerteza. Mapas costumam transmitir uma sensação de precisão, mas muitos dados geográficos são incompletos, estimados, desatualizados ou dependentes de modelos. Limites podem ser imprecisos, classificações podem ser discutíveis, sensores podem ter resolução limitada, algoritmos podem produzir erros, escalas podem distorcer interpretações. A Geoinformação precisa incorporar a incerteza como parte da representação, e não escondê-la.

Por fim, há o limite social. O SIG cartográfico tende a representar melhor aquilo que é mensurável e georreferenciável. Mas muitos aspectos fundamentais do território são vividos, narrados, disputados e simbolizados. Medo, pertencimento, memória, conflito, uso informal, cuidado, precariedade e expectativa de futuro são dimensões que nem sempre aparecem em bases oficiais. Um SIG social precisa encontrar formas de dialogar com essas dimensões sem reduzi-las indevidamente (figura 29).

Figura 29 - O que o SIG cartográfico vê / o que ele tende a ocultar



3.6. A necessidade de novas representações para processos dinâmicos e sociais

Se diferentes concepções de espaço produzem diferentes formas de representação computacional, o desafio contemporâneo é ampliar essas representações para lidar com processos dinâmicos e sociais. O WebSIG do século XXI não pode se limitar a publicar mapas estáticos na internet. Ele precisa incorporar temporalidade, interação, interpretação, narrativas, participação e conexão com políticas públicas.

Câmara, Monteiro e Medeiros indicam que, para aproximar a noção de espaço como sistema de objetos e ações, será necessário recorrer a técnicas como sistemas dinâmicos, ontologias e representação do conhecimento, sem perder de vista que esses modelos serão sempre aproximações reducionistas da realidade geográfica. Essa advertência é fundamental: o objetivo não é capturar a totalidade do espaço em um sistema computacional, mas construir aproximações mais ricas, conscientes de seus limites (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

As ontologias podem ajudar a explicitar categorias, relações e significados. Em vez de tratar todos os objetos como simples geometrias, uma ontologia permite definir tipos de objetos, propriedades, relações e hierarquias conceituais. Uma praça, por exemplo, não seria apenas um polígono: poderia ser compreendida como espaço público, equipamento urbano, infraestrutura verde, lugar de convivência, elemento de adaptação climática e objeto de política pública. Essa ampliação semântica permite aproximar a representação computacional de interpretações mais complexas do território.

Modelos espaço-temporais também são fundamentais. Eles permitem representar mudanças, simular cenários, acompanhar séries históricas e compreender dinâmicas. No caso climático, por exemplo, é importante analisar a evolução da temperatura de superfície, da cobertura vegetal, da impermeabilização e da exposição a eventos extremos. No planejamento urbano, é fundamental acompanhar expansão urbana, transformação do uso do solo, implantação de infraestrutura e efeitos de políticas públicas.

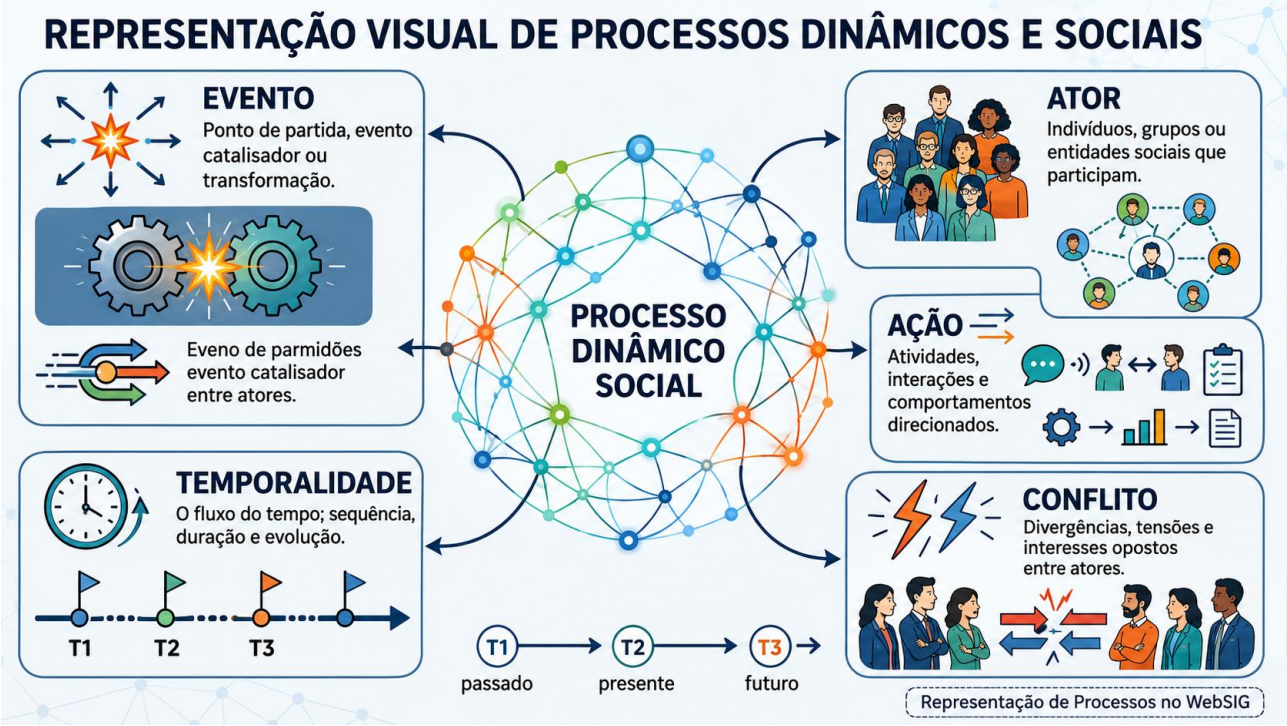
Modelos baseados em agentes e sistemas dinâmicos podem contribuir para representar ações e interações, ainda que de modo simplificado. Eles permitem simular comportamentos, decisões, deslocamentos ou transformações resultantes da interação entre múltiplos atores e condições. Contudo, devem ser utilizados com cuidado, pois a formalização computacional de ações sociais sempre envolve simplificação. A vida social não cabe plenamente em equações ou regras.

A cartografia participativa e a ciência cidadã oferecem outra via. Ao permitir que usuários contribuam com dados, percepções, registros e narrativas, os WebSIGs podem incorporar dimensões do território que não aparecem nas bases oficiais. A participação social amplia a inteligência territorial, mas também exige protocolos de validação, ética, transparência, cuidado com dados sensíveis e atenção às desigualdades de acesso à tecnologia.

A experiência da UrbVerde aponta nessa direção. Lacerda observa que a democratização dos SIGs é essencial para o futuro da geoinformação, pois a interação individual com dados espaciais pode estimular pensamento, interpretação e tomada de decisão. O cidadão não técnico pode interagir com os dados para produzir significado, contribuindo para a representação do conhecimento geográfico. A UrbVerde se insere nesse contexto como WebSIG voltado à disponibilização de métricas e indicadores

socioambientais acessíveis, apoiando políticas públicas, transparência e participação social (LACERDA, 2025) (figura 30).

Figura 30 - Processos dinâmicos e sociais: evento, ator, ação, temporalidade, conflito



3.7. Do espaço representado ao espaço interpretado

A questão central não é apenas representar mais dados, mas produzir melhores condições de interpretação. Um SIG pode conter milhares de camadas e, ainda assim, ser pobre do ponto de vista epistemológico se não ajudar o usuário a compreender relações. A inteligência territorial não nasce do acúmulo de mapas, mas da capacidade de construir sentido entre fenômenos.

Essa distinção é central para o WebSIG do século XXI. Um mapa de temperatura de superfície pode revelar áreas quentes; um mapa de cobertura vegetal pode mostrar áreas arborizadas; um mapa de renda pode indicar desigualdade socioeconômica. Mas a questão pública surge quando esses mapas são interpretados em conjunto: por que as áreas mais pobres também podem ser as mais quentes e menos arborizadas? Que políticas produziram essa configuração? Que ações poderiam reduzi-la? Que indicadores permitem monitorar mudanças? Quem deve ser priorizado?

Nesse ponto, a epistemologia da geoinformação encontra a política pública. Representar o espaço não é apenas descrever o mundo; é criar condições para agir sobre ele. Quando um WebSIG torna visível a desigualdade socioambiental, ele pode subsidiar planos de arborização, políticas de parques e praças, adaptação climática, drenagem urbana, revisão de planos diretores e educação territorial. Mas, para isso, a representação precisa ser interpretável e socialmente apropriável.

A passagem do espaço representado ao espaço interpretado exige três elementos. Primeiro, rigor metodológico: os dados precisam ser confiáveis, rastreáveis e bem documentados. Segundo, clareza

comunicacional: os indicadores precisam ser explicados, as escalas precisam ser compreensíveis e as interfaces precisam orientar o uso. Terceiro, fundamentação teórica: o sistema precisa saber que tipo de espaço está representando e quais dimensões permanecem fora da representação.

3.8. Considerações finais

Este capítulo mostrou que todo SIG expressa uma concepção de espaço, mesmo quando ela permanece implícita. A unidade-área, as superfícies, as redes, os objetos, os fluxos, os lugares e os processos sociais correspondem a diferentes formas de compreender e representar o território. Cada uma delas encontra possibilidades e limites nas estruturas computacionais disponíveis.

A Geografia idiográfica contribuiu para a representação por unidades-área, polígonos e atributos; a Geografia Quantitativa, para superfícies, redes, estatística espacial e modelos; a Geografia Crítica, por sua vez, tensiona essas representações ao insistir que o espaço é produzido por ações, conflitos, relações sociais, normas, temporalidades e processos históricos.

O desafio contemporâneo não é abandonar mapas, polígonos, grades ou redes, mas utilizá-los de forma crítica. Um SIG social precisa reconhecer que a geometria é necessária, mas insuficiente; que o dado é indispensável, mas não fala sozinho; que o modelo ajuda a compreender, mas também reduz. É nesse ponto que a geoinformação se aproxima da questão central deste livro: como representar computacionalmente o espaço sem perder sua densidade social e política?

Referências bibliográficas

ANSELIN, Luc. **Spatial Econometrics: Methods and Models**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988.

BAILEY, Trevor C.; GATRELL, Anthony C. **Interactive Spatial Data Analysis**. Harlow: Longman, 1995.

BURROUGH, Peter A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986.

BURROUGH, Peter A. **Dynamic Modelling and Geocomputation**. In: LONGLEY, Paul A. et al. (org.). **Geocomputation: A Primer**. New York: John Wiley, 1998.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

CASTELLS, Manuel. **A sociedade em rede**. São Paulo: Paz e Terra, 1999.

CHORLEY, Richard J.; HAGGETT, Peter. **Models in Geography**. London: Methuen, 1967.

GOODCHILD, Michael F. **A spatial analytic perspective on geographical information systems**. *International Journal of Geographical Information Systems*, v. 1, n. 4, p. 327-334, 1987.

HARTSHORNE, Richard. **Propósitos e natureza da geografia**. São Paulo: Hucitec, 1966.

HARVEY, David. **Explanation in Geography**. New York: St. Martin's Press, 1969.

HARVEY, David. **The Condition of Postmodernity**. London: Basil Blackwell, 1989.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

MORAES, Antônio Carlos Robert. **Geografia: pequena história crítica**. São Paulo: Hucitec, 1995.

OPENSHAW, Stan. **The Modifiable Areal Unit Problem**. Norwich: Geo Books, 1984.

SANTOS, Milton. **Por uma geografia nova: da crítica da geografia a uma geografia crítica**. São Paulo: Hucitec, 1978.

SANTOS, Milton. **Espaço e método**. São Paulo: Nobel, 1985.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

SOWA, John F. **Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations**. Pacific Grove: Brooks/Cole, 2000.

WESSELING, C. G.; KARSSENBERG, D.; VAN DEURSEN, W. P. A.; BURROUGH, P. A. **Integrating dynamic environmental models in GIS: the development of a Dynamic Modelling language**. *Transactions in GIS*, v. 1, p. 40-48, 1996.

Capítulo 4 - O SIG do futuro segundo Câmara, Monteiro e Medeiros

O "SIG do futuro" não deve ser compreendido como uma previsão tecnológica fechada, nem como a simples promessa de softwares mais rápidos, interfaces mais sofisticadas ou bancos de dados maiores. Em Câmara, Monteiro e Medeiros, essa expressão funciona antes como uma hipótese epistemológica e política: a próxima geração de Sistemas de Informação Geográfica deverá superar a representação cartográfica convencional e incorporar, ainda que de modo parcial, aproximado e necessariamente incompleto, as relações sociais, os atores, os fluxos, os processos e as ações que produzem o espaço geográfico (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003) (figura 31).

Figura 31 - SIG atual x SIG do futuro



Essa formulação promove o deslocamento o debate sobre os SIG. A questão não é apenas como representar melhor objetos, superfícies, redes ou atributos, mas como aproximar os sistemas computacionais da complexidade do espaço enquanto totalidade social, técnica, política e histórica. O território não é apenas uma superfície onde fenômenos se distribuem. Ele é produzido por objetos, ações, normas, usos, conflitos, temporalidades, fluxos, instituições, infraestruturas e projetos. Por isso, o "SIG do futuro" precisa ser pensado como construção aberta, situada entre a Ciência da Geoinformação, a Geografia Crítica, a modelagem computacional, a representação do conhecimento e as políticas públicas.

4.1. Os SIG atuais como sistemas ainda cartográficos

A principal crítica de Câmara, Monteiro e Medeiros à geração atual dos SIG é que, apesar dos avanços técnicos, ela permanece fortemente baseada em uma lógica cartográfica do espaço. Os autores reconhecem que os SIG oferecem enorme capacidade de expressão lógica e matemática sobre variáveis

georreferenciadas, com economia de procedimentos, repetibilidade e precisão dificilmente alcançáveis por métodos tradicionais. No entanto, afirmam que a tecnologia resolveu apenas os problemas mais simples da representação computacional do espaço, mantendo-se dependente da construção de "mapas computacionais" como forma predominante de análise e visualização (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa crítica não significa negar a importância dos mapas. Ao contrário, os mapas continuam sendo fundamentais para a leitura espacial. O problema está em reduzir o espaço geográfico à sua representação cartográfica. A geração atual de SIG é muito eficiente para representar pontos, linhas, polígonos, grades, superfícies, redes e atributos. Ela permite mapear vegetação, temperatura, hidrografia, uso do solo, equipamentos públicos, áreas de risco e padrões de ocupação urbana. Mas sua capacidade de representar processos, conflitos, intencionalidades, ações sociais e dinâmicas históricas permanece limitada.

O SIG cartográfico é especialmente forte quando o problema pode ser expresso por formas, distribuições ou relações geométricas. Ele funciona bem quando se pergunta "onde está?", "qual é a área?", "qual é a distância?", "o que se sobrepõe?", "quais unidades possuem determinado atributo?" ou "qual padrão espacial pode ser identificado?". Mas ele enfrenta dificuldades quando as perguntas se deslocam para "por que essa configuração se produziu?", "quais agentes atuam nesse território?", "quais relações de poder estruturam essa distribuição?", "quais processos históricos geraram essa desigualdade?" ou "como as ações sociais transformam continuamente esse espaço?".

É nesse ponto que Câmara, Monteiro e Medeiros diferenciam a capacidade operacional dos SIG de suas limitações epistemológicas. A atual geração de sistemas é capaz de representar objetos e variáveis espaciais, mas não consegue capturar de maneira plena os processos que constituem a dinâmica do espaço geográfico. Como afirmam os autores, a Geografia Crítica tem uma contribuição importante para a Ciência da Geoinformação justamente porque enfatiza a noção de processo em oposição à natureza estática dos SIG tradicionais (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa limitação é especialmente relevante no planejamento urbano e ambiental. Um SIG pode representar uma área de risco, uma mancha de calor ou a ausência de vegetação. Contudo, compreender tais fenômenos exige mais do que sua localização. Exige analisar processos de urbanização desigual, produção imobiliária, ausência de políticas públicas, precariedade de infraestrutura, transformação do uso do solo, padrões de renda, vulnerabilidade social e exposição ambiental. O mapa revela a configuração; a Geografia Crítica pergunta pelo processo.

4.2. O espaço como sistema de objetos e sistema de ações

A formulação mais importante para pensar o "SIG do futuro" é a concepção de Milton Santos segundo a qual o espaço geográfico é formado por um sistema de objetos e um sistema de ações. Câmara, Monteiro e Medeiros destacam que essa noção coloca o debate da geoinformação em um nível de abstração mais elevado, porque exige articular os objetos que compõem o espaço com as ações humanas e os processos físicos que o transformam ao longo do tempo (SANTOS, 1996; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003) (figura 32).

Figura 32 - Sistema de objetos e sistema de ações



Os objetos são as formas materiais e técnicas que compõem o território: ruas, edifícios, praças, parques, rios, barragens, redes de drenagem, escolas, hospitais, sensores, satélites, servidores, plataformas digitais, infraestruturas de transporte e comunicação. As ações são os usos, práticas, políticas, decisões, conflitos, regulações, fluxos econômicos, formas de apropriação e processos sociais que dão sentido e movimento a esses objetos. O espaço, nessa perspectiva, não é apenas a paisagem visível, mas a paisagem animada pela vida social. Essa concepção desafia profundamente os SIG.

Representar objetos é relativamente mais simples: pode-se utilizar pontos, linhas, polígonos, redes ou superfícies. Representar ações é mais difícil, porque as ações são dinâmicas, intencionais, contextuais e frequentemente imateriais. Elas não se deixam reduzir facilmente a geometrias. Uma ocupação irregular pode ser representada por um polígono; mas o processo social que a produziu envolve mercado fundiário, ausência de alternativas habitacionais, políticas públicas, relações de trabalho, redes familiares, conflito jurídico e estratégias de permanência. Um parque pode ser representado por um limite; mas sua função social depende de usos cotidianos, acessibilidade, manutenção, segurança, memória, pertencimento e disputas sobre o espaço público.

Câmara, Monteiro e Medeiros afirmam que a tradução do conceito de "sistema de objetos e sistema de ações" para o ambiente computacional esbarra em três questões principais: como modelar os sistemas de objetos, como representar os sistemas de ações e como expressar as interações entre objetos e ações (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). Essa tríade é uma das chaves teóricas do "SIG do futuro". Ela mostra que a nova geração de SIG não dependerá apenas de melhores mapas, mas de novas formas de representar conhecimento geográfico.

Essa discussão também reposiciona o papel dos usuários. Se o espaço é composto por objetos e ações, então os sujeitos sociais não são apenas consumidores de mapas. Eles são parte da produção do espaço. Suas práticas, percepções, usos e decisões constituem o próprio território representado. Por isso, o SIG do futuro precisa incorporar, ainda que parcialmente, a dimensão relacional, social e experiencial do espaço. Essa é uma das razões pelas quais Lacerda aproxima a ideia de Social GIS da evolução dos SIG, ao argumentar que a UrbVerde pode expandir funcionalidades tradicionais ao promover inclusão, interação e participação cidadã no uso e desenvolvimento da plataforma (LACERDA, 2025).

4.3. Espaço de fluxos e espaço de lugares

Outro ponto central para o "SIG do futuro" é a tensão entre espaço de fluxos e espaço de lugares. Câmara, Monteiro e Medeiros recuperam, nesse debate, as contribuições de David Harvey, Manuel Castells e Milton Santos. Harvey discute a compressão espaço-tempo como característica central das transformações contemporâneas do capitalismo, associada à aceleração dos transportes, das telecomunicações e dos fluxos financeiros. Castells formula a oposição entre espaço de fluxos e espaço de lugares. Santos, por sua vez, trabalha com a relação entre fixos e fluxos como dimensão constitutiva do espaço (HARVEY, 1989; CASTELLS, 1999; SANTOS, 1978; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003) (figura 33).

Figura 33 - Espaço de fluxos x espaço de lugares



O espaço de lugares corresponde às localizações, aos territórios vividos, às áreas de moradia, aos bairros, às relações cotidianas e à contiguidade espacial. É o espaço da experiência próxima, da vizinhança, do pertencimento, dos serviços urbanos, das praças, das escolas, dos deslocamentos cotidianos e das desigualdades territorializadas. O espaço de fluxos, por outro lado, corresponde às

redes de capital, informação, tecnologia, mercadorias, pessoas, imagens, dados e decisões que atravessam e reorganizam os lugares, muitas vezes independentemente da proximidade física.

Essa distinção desafia a lógica tradicional dos SIG porque grande parte da análise espacial clássica está baseada em distância, proximidade, contiguidade e vizinhança. A "lei de Tobler", segundo a qual coisas próximas tendem a ser mais relacionadas do que coisas distantes, continua importante para muitos fenômenos. Mas ela é insuficiente para compreender relações sociais e econômicas organizadas por fluxos que atravessam escalas e desestabilizam a proximidade física. Um bairro pode ser profundamente afetado por decisões financeiras tomadas a milhares de quilômetros; uma cidade pode ser reorganizada por cadeias globais de produção; um território pode ser atravessado por redes digitais que não obedecem à contiguidade espacial.

Câmara, Monteiro e Medeiros observam que a compressão espaço-tempo subverte a lógica previsível de organização do espaço baseada na proximidade e cria desafios conceituais para sua representação computacional. Relações como adjacência e distância euclidiana capturam efeitos locais, mas não representam plenamente a dinâmica dos fenômenos sociais e econômicos contemporâneos (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Para o SIG do futuro, isso significa que a representação espacial não pode se limitar ao espaço absoluto. É preciso incorporar o espaço relacional. Redes, fluxos, conexões funcionais, interdependências institucionais, circulação de dados, deslocamentos cotidianos e relações multiescalares precisam ser integrados às análises. O território não é apenas o que está contíguo, mas também aquilo que se conecta. O WebSIG do século XXI precisa ser capaz de representar tanto a área quanto o fluxo, tanto o lugar quanto a rede, tanto o fixo quanto o movimento.

Essa questão é particularmente importante para plataformas voltadas a políticas públicas. A adaptação climática, por exemplo, exige olhar para áreas específicas - bairros vulneráveis, ilhas de calor, zonas inundáveis -, mas também para fluxos de água, energia, transporte, pessoas, recursos públicos e decisões institucionais. A desigualdade socioambiental não é apenas uma distribuição espacial; ela é produzida por fluxos econômicos, políticas urbanas, redes de infraestrutura e formas de valorização desigual do território.

4.4. Limites da representação computacional

Embora defendam a necessidade de uma nova geração de SIG, Câmara, Monteiro e Medeiros são cuidadosos ao reconhecer os limites da representação computacional. Para os autores, é essencial distinguir entre as capacidades da atual geração de SIG e as limitações inerentes a qualquer representação computacional do espaço geográfico. Mesmo que se desenvolvam sistemas mais sofisticados, será sempre inviável capturar todas as dimensões de conceitos como "sistemas de objetos e sistemas de ações" em um ambiente de geoinformação (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Esse ponto é fundamental. O SIG do futuro não deve ser imaginado como sistema total, capaz de representar integralmente a realidade territorial. O espaço geográfico é mais complexo do que qualquer modelo. Ele envolve materialidade, ação, memória, conflito, percepção, norma, história, acaso, poder e

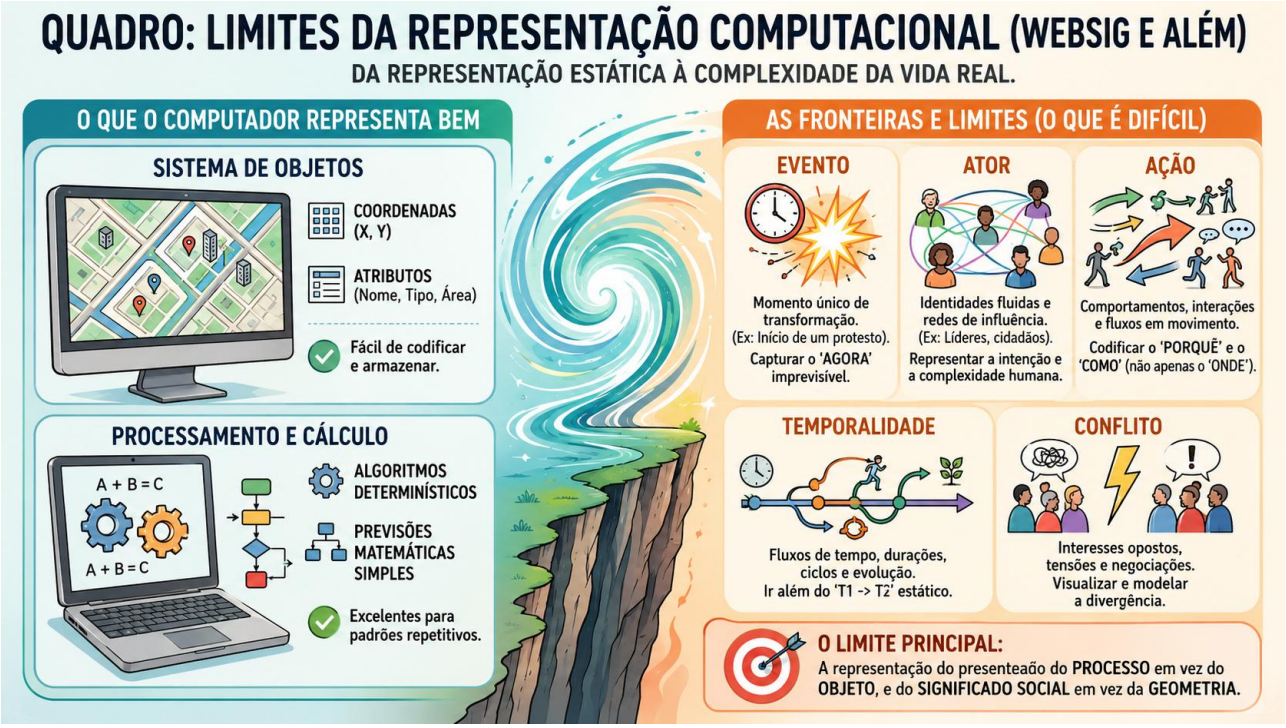
experiência vivida. Nenhuma estrutura de dados é capaz de capturar tudo isso. O objetivo, portanto, não é produzir uma cópia computacional completa do território, mas construir representações parciais mais ricas, conscientes de seus limites e mais adequadas a determinados problemas públicos.

A representação computacional sempre implica redução. Para que um fenômeno entre no sistema, ele precisa ser formalizado: transformado em objeto, atributo, classe, relação, regra, variável, função, fluxo, evento ou processo. Essa formalização permite análise, mas também elimina ambiguidades, nuances e dimensões não modeladas. É por isso que um SIG pode representar muito bem a geometria de uma área, mas não necessariamente sua história; pode representar a distância até uma praça, mas não necessariamente a qualidade da experiência de uso; pode representar a temperatura de superfície, mas não necessariamente a sensação térmica de diferentes corpos em diferentes condições sociais.

Essa limitação não é um defeito acidental, mas uma característica estrutural da computação. Câmara, Monteiro e Medeiros lembram que o computador é uma ferramenta matemática, não analógica. A representação de processos depende de modelagem numérica, frequentemente por equações funcionais, regras ou modelos formais (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). Isso é adequado para muitos processos físicos, mas se torna mais problemático quando se trata de processos sociais, urbanos, culturais ou políticos, nos quais intencionalidades, conflitos, contextos e interpretações desempenham papel central.

Daí a importância de evitar duas ilusões opostas. A primeira é a ilusão tecnocrática: acreditar que sistemas computacionais mais sofisticados serão capazes de resolver, por si mesmos, os problemas da análise territorial. A segunda é a ilusão antitécnica: rejeitar as possibilidades da geoinformação por reconhecer seus limites. O caminho proposto por Câmara, Monteiro e Medeiros é mais produtivo: compreender as limitações das representações computacionais e, ao mesmo tempo, buscar técnicas capazes de aproximar dimensões parciais de concepções mais complexas do espaço (figura 34).

Figura 34 - Limites da representação computacional



4.5. Ontologias, modelos dinâmicos e representação do conhecimento

Entre os caminhos apontados por Câmara, Monteiro e Medeiros para aproximar os SIG das concepções críticas de espaço estão as ontologias, os modelos dinâmicos e as técnicas de representação do conhecimento. Essas abordagens não resolvem integralmente o problema, mas indicam possibilidades para superar a tradição exclusivamente geométrica e cartográfica dos SIG.

As ontologias permitem explicitar os conceitos, categorias, propriedades e relações que estruturam determinado domínio. Em um SIG tradicional, uma praça pode ser apenas um polígono com atributos. Em uma abordagem ontológica, ela pode ser compreendida como espaço público, infraestrutura verde, equipamento urbano, área de lazer, elemento de adaptação climática, lugar de sociabilidade, objeto de manutenção municipal e componente de uma política pública. Essa ampliação semântica permite aproximar a representação computacional de formas mais ricas de conhecimento geográfico.

Câmara, Monteiro e Medeiros observam que o uso de ontologias em SIG pode ser entendido como forma de integrar técnicas de representação do conhecimento a uma tecnologia de forte tradição geométrica e cartográfica. As ontologias especificam vocabulários de domínio, definindo entidades, classes, propriedades, predicados, funções e relações entre componentes, podendo ajudar diferentes comunidades a compartilhar informações e estabelecer correspondências entre domínios espaciais (FONSECA; EGENHOFER, 1999; FONSECA et al., 2000; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Contudo, os próprios autores alertam para os limites dessa abordagem. As ontologias enfrentam problemas semelhantes aos da representação do conhecimento: é preciso traduzir conhecimento informal, contextual e muitas vezes tácito em formalismos computacionais. Além disso, muitos paradigmas de representação do conhecimento permanecem estáticos, tendo dificuldade para modelar temporalidade, mudança, contexto e relações dinâmicas entre objetos (SOWA, 2000; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Os modelos dinâmicos, por sua vez, permitem representar mudanças ao longo do tempo. Eles são importantes para processos físicos, como hidrologia, erosão, dispersão de sementes, dinâmica de vegetação ou propagação de poluentes; e também para processos urbanos e socioeconômicos, como expansão urbana, transições de uso do solo, mobilidade, segregação e efeitos de políticas públicas. Câmara, Monteiro e Medeiros mencionam que modelos de processos físicos e modelos de sistemas socioeconômicos são direções importantes para a modelagem dinâmica em geoinformação (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

No entanto, a modelagem dinâmica também exige cautela. Modelar um processo não significa capturá-lo integralmente. Significa construir uma simplificação operacional orientada por hipóteses, variáveis e relações formais. Em problemas urbanos e sociais, essa simplificação pode ser útil para simular cenários, mas precisa ser acompanhada por interpretação crítica. Um modelo de expansão urbana, por exemplo, pode incorporar proximidade a vias, disponibilidade de terra e tendências de mercado, mas dificilmente representará plenamente conflitos fundiários, estratégias de moradores, decisões políticas, disputas jurídicas e práticas informais.

A representação do conhecimento aparece, portanto, como horizonte necessário, mas não suficiente. O SIG do futuro dependerá de novas formas de combinar geometria, semântica, temporalidade, regras, processos, narrativas, participação social e interpretação. Ele não poderá abandonar a cartografia, mas precisará ultrapassar sua centralidade exclusiva (figura 35).

Figura 35 - Ontologias e representação do conhecimento: classes, relações, propriedades, regras



4.6. O SIG do futuro como construção, não como produto acabado

A ideia de SIG do futuro deve ser compreendida como construção histórica, não como produto acabado. Câmara, Monteiro e Medeiros não apresentam um modelo definitivo, mas uma agenda de pesquisa. Sua hipótese é que os SIG do futuro contemplarão representações não cartográficas do espaço, com ênfase no estabelecimento de relações entre os diferentes atores sociais que atuam no território (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa hipótese permanece extremamente atual. O avanço da computação em nuvem, dos bancos de dados espaciais, da inteligência artificial, dos sensores, dos dados abertos, das plataformas web, da ciência cidadã e da visualização interativa ampliou as possibilidades técnicas da geoinformação. Mas a questão central continua sendo epistemológica e política: como representar relações sociais, processos dinâmicos, conflitos, ações e decisões sem reduzir o espaço a mapas estáticos ou a variáveis isoladas?

O WebSIG do século XXI pode ser entendido como um dos caminhos dessa construção. Diferentemente dos SIG tradicionais, muitas vezes restritos a especialistas, o WebSIG amplia a circulação da geoinformação, permite acesso remoto, integra mapas, painéis, gráficos, textos, downloads, interfaces responsivas e formas de interação com usuários diversos. Mas sua inovação não

está apenas na publicação pela internet. Está na possibilidade de transformar sistemas geográficos em infraestruturas públicas de interpretação territorial.

A experiência da UrbVerde permite observar concretamente essa transição. Lacerda argumenta que a plataforma se aproxima da concepção de um Social GIS ao integrar inclusão, participação social e mobilização comunitária, transformando dados geoespaciais em instrumentos de ação social e política pública (LACERDA, 2025). Essa leitura dialoga diretamente com a hipótese de Câmara, Monteiro e Medeiros: o SIG do futuro não será apenas mais preciso, mais rápido ou mais interativo, mas também mais social, relacional e orientado à ação.

Nesse sentido, a interface passa a ser parte da própria epistemologia do SIG. Se o objetivo é representar relações sociais e democratizar a interpretação do espaço, não basta sofisticar os modelos de dados. É preciso tornar os sistemas compreensíveis, navegáveis e significativos para usuários não especializados. Lacerda observa que a integração entre IHC e Ciência da Geoinformação amplia as possibilidades de interpretação pessoal do espaço geográfico por usuários comuns com acesso à internet, em consonância com o pensamento da Geografia Crítica de Milton Santos (LACERDA, 2025).

O SIG do futuro, portanto, não é apenas uma questão de arquitetura computacional. É também uma questão de arquitetura social e institucional. Ele depende de dados, modelos e interfaces, mas também de governança, participação, políticas públicas, transparência metodológica, linguagem acessível, manutenção contínua e compromisso com a justiça territorial. Um sistema que apenas representa o território continua limitado. Um sistema que ajuda diferentes sujeitos a interpretar, discutir e transformar o território aproxima-se da ideia de um SIG social.

4.7. Do SIG do futuro ao WebSIG social

Ao deslocar o SIG do futuro para o campo do WebSIG social, este livro propõe uma atualização da hipótese de Câmara, Monteiro e Medeiros. O problema das representações não cartográficas, das relações entre atores sociais e dos sistemas de objetos e ações não desapareceu. Ao contrário, tornou-se ainda mais urgente em um contexto marcado por crise climática, desigualdades territoriais, urbanização precária, expansão das plataformas digitais e crescente demanda por dados públicos.

Um WebSIG social deve ser capaz de articular três dimensões. A primeira é a dimensão técnico-científica: dados confiáveis, métodos transparentes, capacidade de processamento, interoperabilidade, bancos espaciais, modelagem, indicadores e atualização contínua. A segunda é a dimensão comunicacional: interface compreensível, linguagem simples, visualização clara, acessibilidade, usabilidade e experiência do usuário. A terceira é a dimensão político-institucional: conexão com planos, metas, políticas públicas, participação social, controle democrático e ação territorial.

Essa articulação é necessária porque a democratização da geoinformação não se realiza apenas pelo acesso aos dados. Lacerda observa que, embora a Geografia Voluntária e os mapas colaborativos ampliem a produção e o acesso à informação espacial, o desafio da análise complexa permanece, pois conceitos abstratos precisam ser traduzidos em representações computacionais para serem analisados. Essa necessidade de tradução constitui uma das principais barreiras para o usuário comum e evidencia que muitos SIG ainda permanecem baseados em lógica cartográfica, incapazes de capturar a plenitude dinâmica dos processos sociais (LACERDA, 2025).

Por isso, o WebSIG social não deve apenas mostrar camadas. Deve ajudar a construir perguntas. Não deve apenas oferecer mapas. Deve orientar interpretações. Não deve apenas disponibilizar indicadores. Deve explicitar seus significados, limites e possibilidades de uso. Não deve apenas representar objetos. Deve aproximar objetos, ações, fluxos, lugares, desigualdades e políticas públicas.

A UrbVerde pode ser interpretada como experiência em construção desse horizonte. Ao disponibilizar indicadores socioambientais para todos os municípios paulistas e ao buscar apoiar políticas de adaptação climática e redução das desigualdades territoriais, a plataforma desloca o SIG para o campo da ação pública. O desafio, contudo, permanece aberto: como incorporar cada vez mais as dimensões sociais, relacionais, temporais e participativas do espaço sem perder rigor metodológico e clareza comunicacional? (figura 36).

Figura 36 - Do SIG do futuro ao WebSIG social



4.8. Considerações finais

O "SIG do futuro" formulado por Câmara, Monteiro e Medeiros permanece como uma das hipóteses mais fecundas da Ciência da Geoinformação. Sua força está em reconhecer que os SIG tradicionais, embora tecnicamente poderosos, ainda são limitados por uma lógica cartográfica e relativamente

estática: representam bem objetos, superfícies, redes e atributos, mas encontram dificuldades para representar processos, ações, atores, conflitos e relações sociais.

Ao aproximar a geoinformação das teorias críticas do espaço, os autores mostram que o território não pode ser reduzido à localização. Ele é constituído por objetos e ações, fixos e fluxos, lugares e redes, formas e processos. Ontologias, modelos dinâmicos e representação do conhecimento oferecem caminhos possíveis, mas não soluções totais. O SIG do futuro será sempre construção parcial, feita de aproximações, escolhas, mediações e interfaces.

No horizonte deste livro, o WebSIG do século XXI aparece como atualização dessa agenda. Sua tarefa não é apenas melhorar a visualização do espaço, mas construir condições para que diferentes sujeitos possam interpretá-lo criticamente e agir sobre ele. A questão contundente é saber se essa evolução caminhará apenas para sistemas mais eficientes de visualização ou se será orientada por uma concepção social, pública e democrática da geoinformação.

Referências bibliográficas

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

CASTELLS, Manuel. **A sociedade em rede**. São Paulo: Paz e Terra, 1999.

FONSECA, Frederico T.; EGENHOFER, Max J. **Ontology-driven geographic information systems**. In: ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCES IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, 7., 1999, Kansas City. *Proceedings*... New York: ACM, 1999.

FONSECA, Frederico T.; EGENHOFER, Max J.; DAVIS, Clodoveu; CÂMARA, Gilberto. **Semantic granularity in ontology-driven geographic information systems**. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, v. 36, p. 121-151, 2002.

HARVEY, David. **Condição pós-moderna: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural**. São Paulo: Loyola, 1992.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

SANTOS, Milton. **Por uma geografia nova: da crítica da geografia a uma geografia crítica**. São Paulo: Hucitec, 1978.

SANTOS, Milton. **Espaço e método**. São Paulo: Nobel, 1985.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

SOWA, John F. **Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations**. Pacific Grove: Brooks/Cole, 2000.

Parte III - Do SIG de especialista ao SIG popular: computadores pessoais, internet e geoweb

A Parte III deste livro acompanha a passagem dos Sistemas de Informação Geográfica de um domínio restrito a especialistas para uma presença cada vez mais disseminada na vida cotidiana. Trata-se de compreender como os SIG, inicialmente associados a grandes instituições, equipamentos caros, especialistas em geoprocessamento e estruturas computacionais centralizadas, foram progressivamente deslocados para ambientes de uso mais amplo: computadores pessoais, softwares desktop, navegadores de internet, plataformas web, APIs, serviços baseados em localização, mapas interativos e dispositivos móveis. Essa transição não eliminou a complexidade técnica da geoinformação, mas alterou profundamente sua circulação social (figura 37).

Figura 37 - Linha do tempo



A evolução dos SIG acompanha a própria transformação do meio técnico-científico-informacional. Em Milton Santos, esse meio designa uma etapa histórica na qual ciência, técnica e informação passam a constituir a base material e organizacional da produção do espaço. O território torna-se cada vez mais equipado por redes, sistemas técnicos, bancos de dados, sensores, satélites, telecomunicações, infraestruturas digitais e dispositivos capazes de medir, transmitir, processar e reorganizar informações. Nesse sentido, o SIG não é apenas produto desse meio: ele também participa ativamente de sua constituição, pois transforma o espaço em informação operacional, classificável, comparável, modelável e circulável (SANTOS, 1996).

A passagem dos mainframes aos computadores pessoais, dos sistemas centralizados às estações gráficas, dos softwares especializados às plataformas web e dos bancos locais à computação em nuvem constitui um processo importante para a história da geoinformação. O TCC de Vitor Lacerda situa a década de 1980 como ponto de inflexão, em razão da massificação e do barateamento da

microinformática e das estações de trabalho gráficas, que impulsionaram o crescimento do geoprocessamento e sua consolidação como campo científico. O mesmo trabalho destaca que, desde o início do século XXI, o acesso a dados geográficos via navegador - os WebSIGs - tornou-se uma das linhas mais relevantes de desenvolvimento da área.

Essa transformação técnica teve consequências epistemológicas e sociais. O espaço passou a ser permanentemente medido, imageado, processado, modelado e disponibilizado em interfaces digitais. O sensoriamento remoto ampliou a capacidade de observação da superfície terrestre; os bancos de dados espaciais permitiram organizar grandes volumes de informação georreferenciada; a internet tornou possível publicar, consultar e compartilhar mapas em escala ampla; a computação em nuvem permitiu processar dados em volumes antes impraticáveis; e as APIs abriram caminho para integrar mapas, dados e serviços em múltiplas aplicações. A geoinformação tornou-se, assim, uma camada fundamental da vida contemporânea.

Contudo, essa expansão não eliminou a desigualdade de acesso ao conhecimento espacial. Ao contrário, criou uma nova questão: **como transformar capacidade técnica em inteligência territorial socialmente apropriável?** A popularização de mapas digitais não significa, por si só, democratização da análise geográfica. Navegar por um mapa, buscar um endereço ou calcular uma rota são operações importantes, mas diferentes de cruzar camadas, interpretar indicadores, compreender desigualdades socioambientais, monitorar políticas públicas ou formular diagnósticos territoriais. A passagem do SIG de especialista ao SIG popular é, portanto, ambivalente: amplia o acesso, mas não resolve automaticamente a barreira técnico-científica da interpretação espacial.

O Capítulo 5, **"O SIG no meio técnico-científico-informacional"**, parte dessa ambivalência. O objetivo é compreender os SIG como parte da evolução das técnicas e das redes informacionais que reorganizam o território contemporâneo. Dos computadores centrais aos computadores pessoais, dos SIG desktop aos WebSIGs, dos dados locais à nuvem, a geoinformação acompanha e expressa uma mudança histórica mais ampla: a transformação do espaço em base de dados permanentemente atualizável. O capítulo discutirá mainframes, microinformática, estações gráficas, SIG desktop, internet, webmapping, serviços geográficos, computação em nuvem, sensoriamento remoto e processamento planetário. Essa estrutura corresponde ao eixo proposto para a Parte III, centrado na passagem do SIG especializado ao SIG socialmente disseminado.

O Capítulo 6, **"O pioneirismo brasileiro: INPE, SITIM/SGI, SPRING, TerraLib e TerraView"**, desloca a narrativa para o Brasil. É importante evitar a leitura segundo a qual a história nacional da geoinformação teria sido apenas uma recepção tardia de tecnologias produzidas no exterior. O Brasil possui uma trajetória própria e relevante, fortemente associada ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. O INPE foi fundamental na formação de uma cultura nacional de geoprocessamento, articulando sensoriamento remoto, processamento de imagens, bancos de dados geográficos, análise espacial, desenvolvimento de software e monitoramento ambiental. A página oficial do SPRING registra que o conhecimento adquirido nesse sistema permitiu ao INPE conceber e desenvolver a TerraLib/TerraView, uma biblioteca de código aberto para suportar aplicações geográficas.

Essa trajetória brasileira é central para o argumento do livro porque mostra a geoinformação como infraestrutura científica e pública. A linhagem SITIM/SGI, SPRING, TerraLib, TerraView e TerraBrasilis expressa uma aposta na produção nacional de ferramentas, métodos e sistemas voltados ao território brasileiro. O SPRING reuniu funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais, enquanto o TerraBrasilis, também desenvolvido pelo INPE, oferece acesso, consulta, análise e disseminação de dados espaciais gerados por programas governamentais de monitoramento ambiental, como PRODES e DETER.

O Capítulo 7, **"Google Earth, Google Maps e a popularização da informação espacial"**, tratará da virada cultural provocada pelas plataformas globais de mapas digitais. Google Maps e Google Earth não são SIG completos no sentido analítico clássico, pois não foram concebidos prioritariamente para análise espacial complexa, cruzamento avançado de camadas ou modelagem geográfica. No entanto, eles transformaram radicalmente a relação cotidiana dos usuários com mapas, imagens de satélite, localização, rotas e visualização do planeta. O Google Maps foi lançado em 8 de fevereiro de 2005, e, ainda em 2005, a API do Google Maps abriu caminho para que mapas fossem incorporados em sites e aplicações, acelerando a disseminação da cartografia digital interativa.

O Google Earth, também introduzido em 2005, produziu outra inflexão importante: a visualização planetária tornou-se experiência cotidiana. A própria memória institucional do Google registra que o Google Earth se tornou viral em seu lançamento e foi baixado 100 milhões de vezes na primeira semana, sinalizando a força cultural da visualização global do território. A partir desse momento, milhões de pessoas passaram a "voar" sobre cidades, rios, florestas, bairros e paisagens, reconhecendo o território por meio de imagens de satélite e interfaces digitais. A geoinformação deixou de parecer um domínio exclusivo de cartógrafos, geógrafos, engenheiros e técnicos de geoprocessamento e passou a integrar práticas ordinárias de navegação, busca, localização e reconhecimento espacial.

Mas a popularização também possui limites. As plataformas comerciais reduziram a estranheza social diante dos mapas digitais, mas não substituíram a análise crítica do território. Elas familiarizaram o usuário com a navegação espacial, mas não necessariamente com a interpretação de camadas socioambientais, indicadores, desigualdades, riscos ou políticas públicas. Como observa Lacerda, plataformas como Google Maps revolucionaram a interação cotidiana com o espaço geográfico, mas ainda restringem a capacidade do usuário de sobrepor camadas analíticas e produzir análises socioambientais complexas sobre o local de interesse.

É nesse ponto que a Parte III se articula diretamente à tese geral do livro. A história da popularização da informação espacial não deve ser confundida com a realização plena do WebSIG do século XXI. A disseminação dos mapas digitais foi condição necessária, mas insuficiente. Ela criou familiaridade, reduziu barreiras culturais e ampliou o acesso, mas a democratização da inteligência territorial exige outro passo: transformar visualização em interpretação, navegação em análise, acesso em apropriação social e dado espacial em política pública.

A experiência da UrbVerde aparece, nesse horizonte, como uma resposta possível. O TCC de Vitor Lacerda afirma que a democratização é essencial para o SIG do futuro, pois a possibilidade de um indivíduo interagir com dados espaciais pode estimular o pensamento e promover tomada de decisão.

O cidadão não técnico pode interagir com dados geográficos para produzir significado, contribuindo para a representação do conhecimento geográfico. A UrbVerde se insere nesse contexto como WebSIG voltado a disponibilizar métricas e indicadores socioambientais acessíveis, apoiando políticas públicas baseadas em dados, transparência e participação social.

Essa discussão conduz a uma distinção importante. O SIG popular não é apenas o SIG simplificado. A popularização não deve significar empobrecimento técnico, redução conceitual ou substituição da análise por visualizações superficiais. Ao contrário, o desafio é construir sistemas tecnicamente robustos e epistemologicamente conscientes, mas capazes de dialogar com usuários não especialistas. Um WebSIG do século XXI precisa ser cientificamente rigoroso e socialmente legível; tecnicamente sofisticado e comunicacionalmente acessível; metodologicamente transparente e politicamente orientado à ação pública.

A Parte III, portanto, trata de uma transformação técnica, mas também de uma disputa social sobre o sentido da geoinformação. A passagem do SIG de especialista ao SIG popular pode seguir dois caminhos. No primeiro, a informação espacial se converte em consumo cotidiano de mapas, rotas e imagens, sem necessariamente ampliar a capacidade crítica da sociedade sobre o território. No segundo, a familiaridade com mapas digitais se transforma em inteligência territorial pública, capaz de apoiar educação, planejamento, políticas climáticas, redução de desigualdades e participação social. Este livro aposta no segundo caminho.

Ao final desta parte, o leitor deverá compreender que computadores pessoais, internet, geoweb, plataformas comerciais, ferramentas nacionais e WebSIGs públicos fazem parte de uma mesma história, mas não cumprem a mesma função. Uns ampliam o acesso cotidiano à localização; outros estruturam conhecimento científico e monitoramento ambiental; outros, como a UrbVerde, buscam transformar dados socioambientais em leitura pública do território. O desafio do WebSIG do século XXI é articular essas dimensões: a potência técnica dos SIG, a familiaridade social dos mapas digitais e a orientação pública das plataformas de inteligência territorial.

Referências bibliográficas

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

GOOGLE. **A look back at 15 years of mapping the world**. Google Blog, 2020.

GOOGLE. **Our favorite moments from 20 years of Google Earth**. Google Blog, 2025.

INPE. **SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**. São José dos Campos: Divisão de Processamento de Imagens, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, s.d.

INPE. **TerraBrasilis: Geographic Data Platform**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, s.d.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

Capítulo 5 - O SIG no meio técnico-científico-informacional

A evolução dos Sistemas de Informação Geográfica acompanha a própria transformação do meio técnico-científico-informacional. Dos computadores centrais aos computadores pessoais, dos softwares de gabinete às plataformas web, dos bancos locais à nuvem, dos mapas estáticos aos painéis interativos, a geoinformação tornou-se uma camada fundamental da vida contemporânea. O espaço passou a ser permanentemente medido, imageado, processado, modelado e disponibilizado em interfaces digitais. Essa expansão, entretanto, não elimina a desigualdade de acesso ao conhecimento espacial. Ao contrário, cria uma nova questão: **como transformar capacidade técnica em inteligência territorial socialmente apropriável?**

Essa pergunta é importante porque o SIG não deve ser compreendido apenas como produto da evolução computacional. Ele é, simultaneamente, produto e produtor do meio técnico-científico-informacional. Em Milton Santos, o meio técnico-científico-informacional designa uma etapa histórica na qual ciência, técnica e informação passam a estruturar de modo cada vez mais intenso a produção do espaço, as relações sociais, os fluxos econômicos, as redes urbanas e as formas de ação sobre o território (SANTOS, 1996). Os SIG participam diretamente dessa transformação: eles convertem o espaço em dado, tornam o território operacionalizável, permitem a circulação de informações geográficas em redes digitais e reorganizam a forma como governos, empresas, pesquisadores e cidadãos interpretam o mundo.

Câmara, Monteiro e Medeiros observam que os computadores são ferramentas de representação da realidade e que as estruturas de dados e algoritmos disponíveis em determinado estágio tecnológico condicionam as formas pelas quais os problemas geográficos podem ser expressos computacionalmente (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). Essa afirmação é fundamental para este capítulo. Cada etapa da evolução dos SIG - mainframes, estações gráficas, computadores pessoais, SIG desktop, internet, WebSIG, computação em nuvem e APIs - não apenas ampliou a capacidade técnica de processamento, mas também redefiniu o tipo de pergunta espacial que podia ser formulada, respondida e socialmente difundida.

5.1. Mainframes e processamento centralizado

A primeira fase da geoinformação computacional esteve associada a equipamentos grandes, caros, centralizados e de difícil operação. Os primeiros esforços de automatização do processamento de dados espaciais, ainda nas décadas de 1950 e 1960, estavam vinculados sobretudo à redução de custos na produção de mapas, ao processamento de grandes inventários territoriais e à necessidade de organizar informações que excediam a capacidade de manipulação manual (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; TOMLINSON, 1968). O TCC de Vitor Lacerda sintetiza esse percurso ao lembrar que os primeiros esforços de automatização ocorreram na Inglaterra e nos Estados Unidos na década de 1950, enquanto os primeiros SIG formais surgiram no Canadá nos anos 1960, ainda com operação difícil, altos custos e dependência de hardware sofisticado e profissionais especializados (LACERDA, 2025) (figura 38).

Essa etapa corresponde ao SIG como tecnologia de grandes organizações. Estados nacionais, agências governamentais, centros de pesquisa, universidades e empresas com alta capacidade financeira eram os principais usuários. O SIG, nesse momento, não era uma tecnologia cotidiana, mas um sistema institucional. Sua existência dependia de infraestrutura computacional pesada, equipes especializadas e problemas territoriais de grande escala. A informação geográfica era processada de forma centralizada, e o acesso aos resultados era restrito.

Essa restrição não era apenas técnica. Ela também era social e institucional. Quem possuía os computadores, os dados e os especialistas controlava a capacidade de produzir leitura espacial sistemática. A geoinformação nascia, assim, como poder técnico concentrado. Essa concentração era compreensível diante das condições materiais da época, mas revela uma característica que permaneceria como tensão ao longo da história dos SIG: a distância entre a capacidade de processamento dos sistemas e a capacidade de apropriação social dos resultados.

No interior do meio técnico-científico-informacional nascente, os SIG centralizados expressavam uma nova forma de racionalidade territorial. O território podia ser decomposto em unidades, atributos, classificações e relações. O Estado podia cruzar informações sobre solos, florestas, recursos hídricos, agricultura, uso da terra e aptidões territoriais. A cartografia deixava de ser apenas representação final e passava a funcionar como parte de uma cadeia computacional de processamento. Essa mudança inaugurou uma nova etapa da relação entre técnica, informação e planejamento (figura 38).

Figura 38 - SIG como tecnologia institucional



5.2. Microinformática e estações gráficas

O grande ponto de inflexão na história dos SIG ocorreu com a massificação e o barateamento da microinformática e das estações de trabalho gráficas. A década de 1980 representou uma mudança

importante: os computadores deixaram progressivamente de ser apenas máquinas centrais de grandes instituições e passaram a se tornar ferramentas de trabalho mais distribuídas. Essa transição permitiu a expansão dos SIG para novos usuários, laboratórios, escritórios técnicos, empresas de planejamento, universidades e órgãos públicos locais.

Lacerda destaca que a década de 1980 foi o momento em que a massificação da microinformática e das estações gráficas impulsionou o crescimento acelerado do geoprocessamento e contribuiu para sua consolidação como disciplina científica distinta (LACERDA, 2025). Essa observação é central porque mostra que a história dos SIG não depende apenas da criação de algoritmos ou modelos espaciais, mas também da disponibilidade material dos meios de processamento. Quando os computadores se tornam mais baratos, mais acessíveis e mais interativos, o próprio campo da geoinformação se expande.

A microinformática alterou a escala social do SIG. Se antes os sistemas eram restritos a grandes estruturas computacionais, agora podiam ser utilizados em estações de trabalho, laboratórios universitários e setores técnicos de planejamento. Essa mudança permitiu o surgimento de comunidades profissionais de geoprocessamento, a formação de especialistas, a disseminação de cursos, a consolidação de softwares comerciais e acadêmicos e a ampliação das aplicações em planejamento urbano, gestão ambiental, cadastro, transporte, saneamento, mineração, agricultura e análise regional.

A presença das estações gráficas foi igualmente importante. O SIG exige não apenas cálculo, mas visualização. A capacidade de representar mapas, camadas, imagens e gráficos na tela transformou a interação com os dados espaciais. O usuário passou a manipular visualmente o território, selecionar objetos, ativar camadas, consultar atributos, editar geometrias e produzir mapas de forma mais direta. A relação entre cartografia e computação tornou-se mais interativa.

Essa etapa também fortaleceu a profissionalização do geoprocessamento. O especialista em SIG tornou-se uma figura estratégica: alguém capaz de operar softwares, compreender dados espaciais, lidar com projeções cartográficas, preparar bases, cruzar camadas, interpretar resultados e produzir mapas temáticos. A democratização ainda era limitada, mas o campo deixava de ser exclusividade de grandes centros computacionais. O SIG começava a se tornar uma prática profissional (figura 39).

Figura 39 - Década de 1980: microinformática e estações gráficas



5.3. SIG desktop e profissionalização do geoprocessamento

Com a expansão dos computadores pessoais e das estações de trabalho, os SIG desktop consolidaram-se como ambiente privilegiado de produção e análise espacial. Softwares especializados permitiram organizar bancos de dados geográficos, editar geometrias, classificar imagens, cruzar camadas, gerar mapas, calcular áreas, realizar análises de proximidade, produzir modelos digitais de terreno e construir produtos cartográficos. Essa etapa marcou a consolidação do SIG como ferramenta cotidiana de técnicos e pesquisadores.

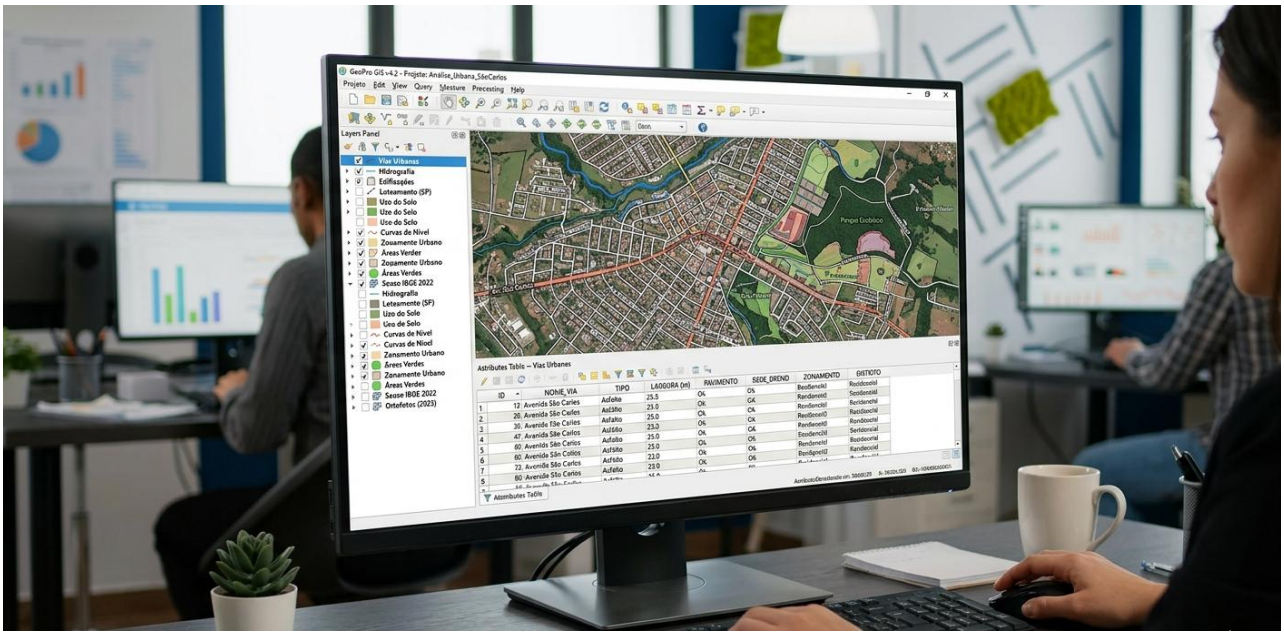
O SIG desktop ampliou significativamente a capacidade de análise territorial. Ele permitiu que universidades, empresas e órgãos públicos estruturassem suas próprias bases geográficas, produzissem diagnósticos, comparassem cenários e elaborassem mapas temáticos com maior autonomia. A gestão territorial passou a contar com instrumentos mais flexíveis e reprodutíveis. Problemas urbanos e ambientais puderam ser analisados por meio de operações espaciais relativamente padronizadas.

Essa profissionalização teve uma consequência importante: a geoinformação tornou-se uma competência técnica reconhecida. Surgiram cursos, disciplinas, laboratórios, manuais, protocolos e comunidades de prática. A operação de SIG passou a integrar a formação de geógrafos, urbanistas, engenheiros, arquitetos, ambientalistas, agrônomos, geólogos, analistas de transporte e gestores públicos. A tecnologia deixou de ser experimental e passou a compor a rotina de produção de conhecimento territorial.

Contudo, o SIG desktop manteve uma barreira importante: ele ainda exigia conhecimento técnico especializado. A instalação de softwares, a preparação de bases, o domínio de formatos, a compreensão de sistemas de coordenadas, a manipulação de bancos de dados e a interpretação de resultados continuavam restritos a usuários treinados. O acesso se ampliou, mas a distância entre especialistas e usuários comuns permaneceu.

Essa tensão é essencial para compreender a passagem posterior aos WebSIGs. O SIG desktop democratizou o acesso em relação aos sistemas centralizados, mas não democratizou plenamente a interpretação espacial. Ele ampliou a comunidade de especialistas, mas não transformou a geoinformação em linguagem pública. Essa transformação dependeria da internet, dos navegadores, das plataformas web e da construção de interfaces mais acessíveis (figura 40).

Figura 40 - Profissionalização do geoprocessamento



5.4. Internet, webmapping e serviços geográficos

A internet abriu uma nova etapa na história dos SIG. A partir dela, a geoinformação deixou de depender exclusivamente de softwares instalados em máquinas locais e passou a circular por navegadores, servidores, serviços e plataformas digitais. O mapa pôde ser publicado, consultado, atualizado e compartilhado em rede. Essa passagem altera a relação entre produção e acesso: o usuário não precisa necessariamente possuir o software ou a base local; pode acessar o serviço remotamente.

Lacerda observa que, desde o início do século XXI, uma das linhas de pesquisa e desenvolvimento em geoprocessamento que mais despertaram interesse foi o acesso a dados geográficos via navegador de internet, denominado WebSIG (LACERDA, 2025). A primeira geração desses sistemas era limitada: o usuário preenchia formulários, escolhia região e camadas, e o servidor devolvia uma imagem, geralmente em formato GIF ou JPEG. O processo era lento, pouco interativo e dependente da geração

de mapas-imagem pelo servidor (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; GASPAR, 2014; LACERDA, 2025).

Mesmo com essas limitações, a web alterou profundamente a geoinformação. Ela permitiu que mapas e dados espaciais fossem distribuídos para públicos muito mais amplos. Órgãos públicos puderam publicar mapas oficiais; empresas puderam incorporar mapas em seus serviços; universidades puderam compartilhar resultados de pesquisa; usuários comuns passaram a interagir com interfaces cartográficas digitais. A geoinformação deixou de circular apenas em laboratórios e gabinetes técnicos.

O desenvolvimento de padrões de interoperabilidade, serviços geográficos, servidores de mapas, tiles, APIs e bibliotecas JavaScript ampliou essa transformação. A cada nova etapa, o mapa na web tornou-se mais fluido, interativo e integrado a outras bases. Operações como zoom, pan, clique, ativação de camadas, consulta de atributos, filtros e visualização dinâmica tornaram-se parte da experiência cotidiana dos usuários. O WebSIG começou a superar a lógica do mapa estático.

Essa transformação é inseparável do meio técnico-científico-informacional. A internet não é apenas canal de distribuição de mapas; ela é infraestrutura de circulação do território como informação. Dados espaciais passam a circular em redes, interfaces, bancos, APIs e sistemas distribuídos. O território torna-se acessível como serviço. Essa mudança permite novas formas de gestão, mas também cria novas dependências técnicas, comerciais e institucionais (figura 41).

Figura 41 - Internet como circulação do território-informação



5.5. Da web cartográfica à geoweb

A noção de geoweb designa esse ambiente no qual informações geográficas, serviços de localização, mapas interativos, dados colaborativos, imagens de satélite, APIs e aplicações web passam a compor uma infraestrutura espacial distribuída. A geoweb não é apenas a publicação de mapas na internet. Ela é a integração da localização como dimensão estruturante da experiência digital.

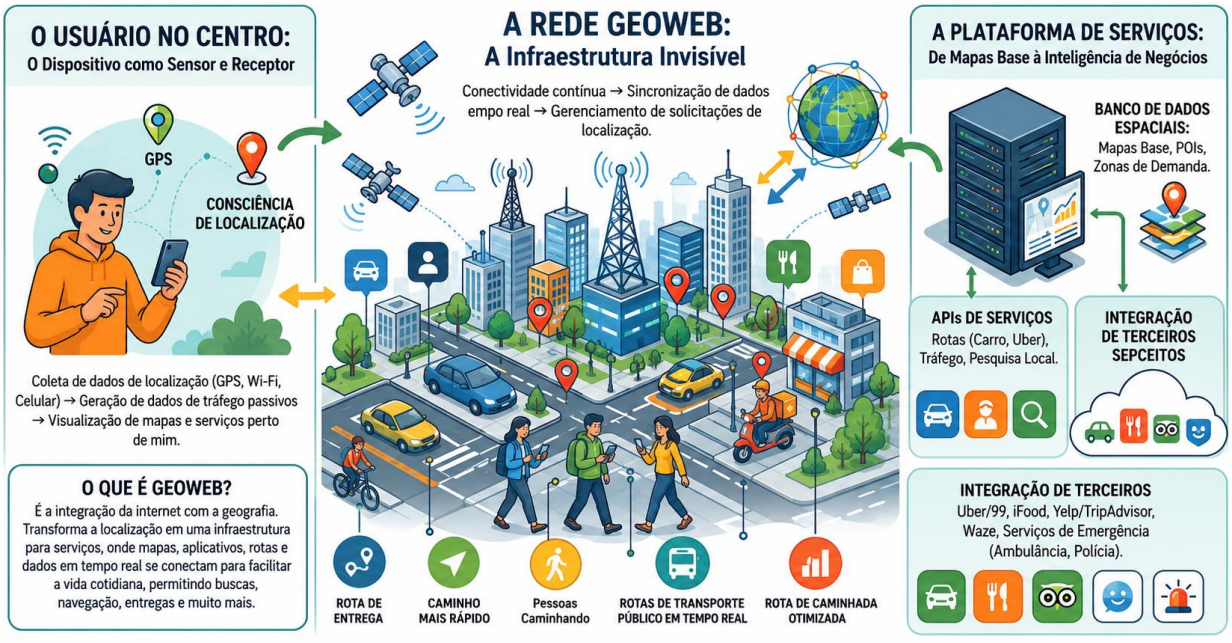
Com a geoweb, a localização passa a organizar buscas, rotas, entregas, transporte, publicidade, turismo, vigilância, redes sociais, políticas urbanas, aplicativos móveis e serviços públicos. O espaço deixa de ser apenas tema de especialistas e passa a ser componente ordinário das plataformas digitais. A vida cotidiana torna-se georreferenciada. Essa mudança marca a passagem do SIG como ferramenta técnica para a geoinformação como infraestrutura cultural e econômica.

Essa popularização, contudo, não deve ser confundida com análise crítica. Serviços de mapas comerciais permitem localizar endereços, calcular rotas, visualizar imagens e encontrar estabelecimentos, mas não necessariamente permitem cruzar camadas socioambientais, compreender desigualdades, interpretar indicadores ou acompanhar políticas públicas. Lacerda observa que plataformas amplamente acessíveis, como o Google Maps, revolucionaram a forma como o público interage com o espaço geográfico, mas ainda restringem a capacidade dos usuários de sobrepor camadas analíticas para gerar análises socioambientais complexas sobre o local de interesse (LACERDA, 2025).

Essa distinção é central para este livro. A geoweb reduziu a estranheza social diante dos mapas digitais. Milhões de pessoas passaram a navegar em mapas, reconhecer imagens de satélite, buscar lugares e orientar deslocamentos. Mas a inteligência territorial exige um passo a mais: transformar familiaridade espacial em capacidade de interpretação. O usuário que sabe localizar sua casa em um mapa não necessariamente sabe interpretar a relação entre cobertura vegetal, renda, temperatura de superfície e desigualdade urbana.

É nesse intervalo entre acesso e interpretação que se coloca o desafio do WebSIG do século XXI. A geoweb produziu uma cultura espacial digital. O WebSIG social precisa transformar essa cultura em capacidade pública de análise territorial. Isso exige não apenas tecnologia, mas pedagogia, design de interface, linguagem simples, transparência metodológica e conexão com políticas públicas (figura 42).

Figura 42 - Geoweb: localização como infraestrutura cotidiana



5.6. Computação em nuvem e processamento planetário

A computação em nuvem representa outra inflexão na história dos SIG. Se os sistemas centralizados dependiam de computadores institucionais e os SIG desktop dependiam da capacidade local das máquinas, a nuvem permite processar grandes volumes de dados em infraestruturas distribuídas e escaláveis. Isso transforma radicalmente a análise geoespacial, especialmente quando combinada com sensoriamento remoto, séries temporais de imagens, bancos globais e algoritmos de classificação.

Lacerda observa que a metodologia de desenvolvimento de dados georreferenciados da UrbVerde se baseia fortemente na computação em nuvem, tecnologia que transforma a análise SIG ao permitir o processamento e a geração de dados em larga escala, em escalas estaduais e até nacionais. O Google Earth Engine aparece, nesse contexto, como uma das ferramentas centrais para o processamento em larga escala e para a geração de dados georreferenciados utilizados pela plataforma (LACERDA, 2025).

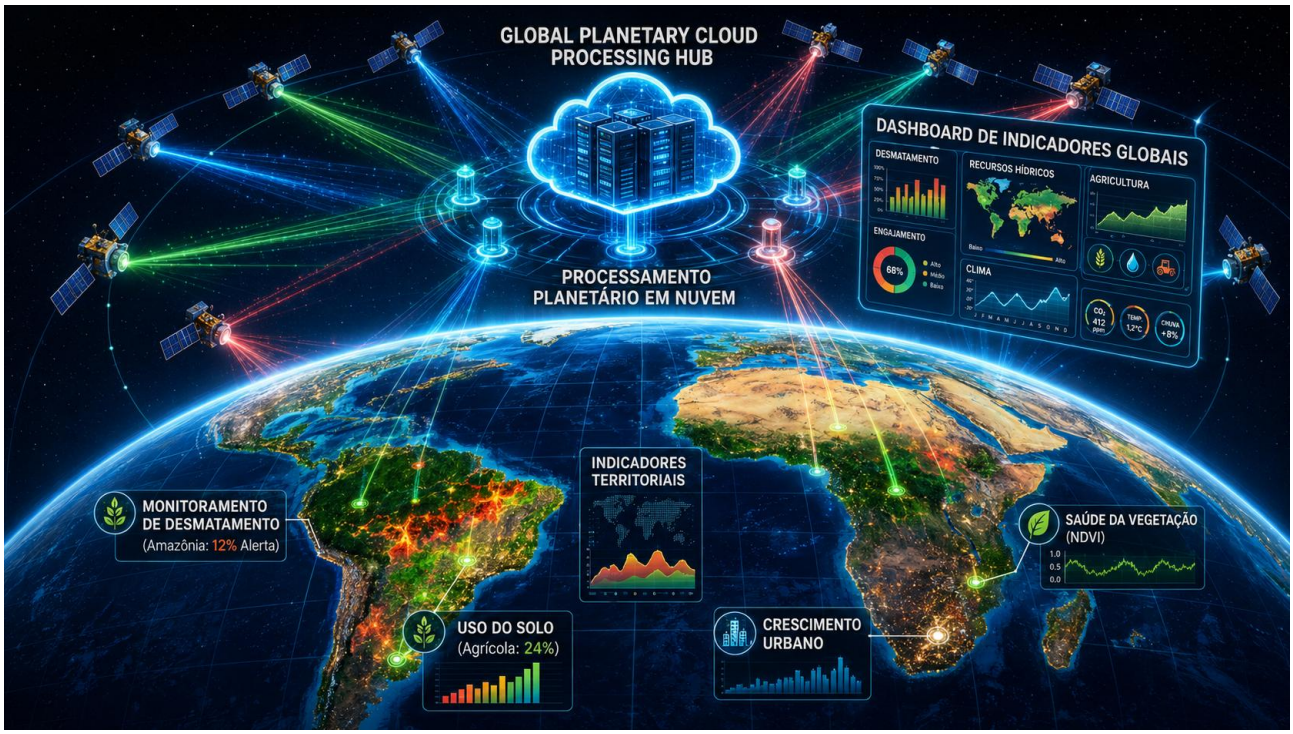
O Google Earth Engine representa um exemplo importante dessa nova etapa. Gorelick et al. (2017) definem a plataforma como um ambiente de análise geoespacial em escala planetária, capaz de combinar catálogos massivos de imagens de satélite e dados geográficos com infraestrutura computacional em nuvem. Essa arquitetura permite que pesquisadores processem séries temporais, calculem índices, classifiquem imagens, monitorem mudanças e produzam indicadores em escalas antes muito difíceis de operar localmente (GORELICK et al., 2017).

A nuvem desloca a questão da capacidade computacional. Em vez de depender exclusivamente do computador local, o usuário pode acionar infraestruturas remotas, bancos distribuídos e catálogos globais. Isso amplia enormemente a possibilidade de produzir análises territoriais em larga escala. Indicadores de vegetação, temperatura de superfície, impermeabilização, queimadas, expansão urbana, água superficial e mudanças de uso do solo podem ser calculados com maior frequência, cobertura e reprodutibilidade.

Mas essa capacidade também produz novos desafios. A escala planetária pode afastar o usuário da escala vivida. O processamento automatizado pode ocultar escolhas metodológicas. A facilidade de gerar mapas pode banalizar a interpretação. A dependência de plataformas comerciais ou infraestruturas externas pode criar problemas de soberania, governança e continuidade. A computação em nuvem amplia a potência analítica, mas não elimina a necessidade de crítica, documentação e controle público dos métodos.

Para o WebSIG do século XXI, a nuvem deve ser entendida como meio, não como fim. Ela permite processar grandes volumes de dados, mas a inteligência territorial só se realiza quando esses dados são transformados em indicadores compreensíveis, interfaces acessíveis e decisões públicas qualificadas. O desafio não é apenas calcular mais rápido, mas interpretar melhor (figura 43).

Figura 43 - Processamento planetário



5.7. Dados massivos, sensoriamento remoto e inteligência territorial

O sensoriamento remoto é uma das principais fontes da geoinformação contemporânea. Satélites, sensores orbitais, fotografias aéreas, drones, estações meteorológicas, sensores urbanos e bases cadastrais produzem volumes crescentes de dados sobre a superfície terrestre. Esses dados permitem observar fenômenos em diferentes escalas espaciais e temporais, monitorar mudanças, identificar padrões e apoiar políticas públicas.

No campo urbano e ambiental, o sensoriamento remoto tornou-se indispensável para analisar cobertura vegetal, temperatura de superfície, expansão urbana, impermeabilização do solo, corpos d'água, queimadas, áreas agrícolas, desmatamento, uso do solo e vulnerabilidades ambientais. Combinado a bancos de dados espaciais e processamento em nuvem, ele permite produzir indicadores comparáveis para grandes territórios, incluindo estados inteiros, regiões metropolitanas e países.

A UrbVerde se insere diretamente nesse contexto. O trabalho de Lacerda registra que a plataforma fornece dados socioambientais georreferenciados para todos os municípios do estado de São Paulo, apoiando políticas públicas de adaptação climática e redução das desigualdades territoriais, com o objetivo de democratizar o acesso à análise de dados e atuar como ferramenta de adaptação climática (LACERDA, 2025).

Essa experiência mostra que dados massivos só se tornam inteligência territorial quando organizados por perguntas públicas. Não basta produzir camadas de NDVI, temperatura ou impermeabilização. É necessário perguntar: onde a população está mais exposta ao calor? Que bairros têm menos vegetação?

Onde faltam praças? Quais áreas combinam vulnerabilidade social e risco ambiental? Que políticas podem ser formuladas a partir desses diagnósticos? Como monitorar mudanças ao longo do tempo?

A inteligência territorial é, portanto, uma construção. Ela depende da articulação entre dados, métodos, indicadores, visualizações, usuários, instituições e políticas públicas. O meio técnico-científico-informacional oferece as condições materiais para essa construção, mas não define automaticamente seus usos. A mesma capacidade técnica pode servir à vigilância, ao mercado, à gestão tecnocrática ou à democratização do conhecimento territorial. O sentido político do SIG depende de sua orientação social.

5.8. O SIG como produto e produtor do meio técnico-científico-informacional

Ler o SIG no meio técnico-científico-informacional significa reconhecer sua dupla condição. Ele é produto desse meio porque depende de satélites, computadores, redes, bancos de dados, softwares, sensores, padrões técnicos, algoritmos e infraestruturas digitais. Mas ele também é produtor desse meio porque reorganiza a forma como o território é conhecido, governado, valorizado, disputado e transformado.

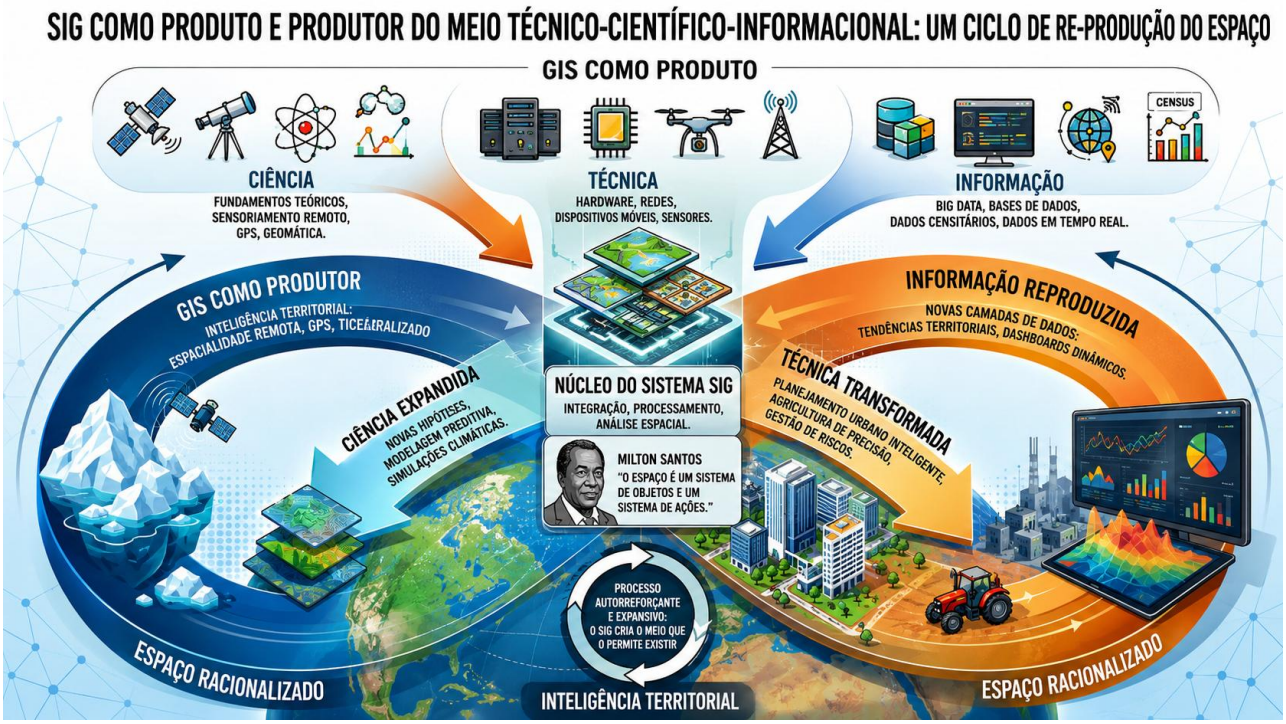
Ao converter o território em dado, o SIG participa da produção de uma nova materialidade informacional do espaço. Áreas urbanas, rios, vegetação, temperatura, infraestrutura, deslocamentos e riscos passam a existir também como camadas, índices, séries temporais, painéis e bancos. Essa existência informacional não substitui o território material, mas interfere na forma como ele é percebido e administrado. O que aparece nos sistemas tende a ganhar visibilidade institucional; o que não aparece pode permanecer invisível para as políticas públicas.

Essa dimensão demonstra que o SIG não apenas representa políticas; ele pode orientar prioridades. Um mapa de áreas críticas pode direcionar investimentos. Um indicador de cobertura vegetal pode influenciar planos de arborização. Uma camada de risco pode afetar licenciamento, remoções, obras e programas habitacionais. Uma plataforma pública pode fortalecer controle social. Assim, a geoinformação participa da própria produção do espaço.

A partir de Milton Santos, podemos dizer que o SIG integra o sistema de objetos e o sistema de ações. Como objeto técnico, ele é composto por softwares, servidores, bancos de dados, sensores, interfaces e redes. Como sistema de ações, ele depende de pesquisadores, programadores, gestores, usuários, instituições, políticas, interpretações e decisões. O SIG não existe apenas como ferramenta; ele existe como prática social mediada por técnica (SANTOS, 1996).

Essa leitura permite superar tanto o entusiasmo tecnológico quanto a crítica simplista. O SIG não é neutro, mas também não é apenas instrumento de dominação. Ele pode reforçar desigualdades quando concentra dados, oculta métodos ou serve a decisões tecnocráticas. Mas pode também fortalecer políticas públicas, transparência, educação territorial e justiça socioambiental quando orientado por princípios públicos, críticos e democráticos (figura 44).

Figura 44 - SIG como produto e produtor do meio técnico-científico-informacional



5.9. Da capacidade técnica à apropriação social

A pergunta central deste capítulo retorna agora com mais força: como transformar capacidade técnica em inteligência territorial socialmente apropriável? A história dos SIG mostra uma expansão contínua da capacidade de processamento: dos mainframes à microinformática, dos SIG desktop à web, dos servidores locais à nuvem, dos mapas estáticos às plataformas interativas. Mas a ampliação técnica não garante, por si só, apropriação social.

A apropriação social depende de mediações. É preciso que os dados sejam confiáveis, que os métodos sejam transparentes, que os indicadores sejam compreensíveis, que as interfaces sejam acessíveis e que os usuários consigam relacionar a informação espacial a problemas concretos. É aqui que a Interação Humano-Computador se torna fundamental. Lacerda afirma que a reestruturação da UrbVerde utilizou Design Thinking, Double Diamond, abordagens centradas no usuário, heurísticas de usabilidade, princípios da Gestalt, linguagem simples e humanismo de dados, com resultados positivos para usabilidade, clareza e engajamento dos usuários (LACERDA, 2025).

Essa observação permite entender que a democratização do SIG não se realiza apenas pela abertura dos dados. Dados abertos podem continuar inacessíveis se forem difíceis de compreender. Mapas públicos podem continuar excludentes se exigirem conhecimento técnico especializado. Plataformas sofisticadas podem fracassar se não dialogarem com as demandas reais de gestores, professores, estudantes, jornalistas, movimentos sociais e cidadãos.

A passagem do SIG de especialista ao SIG popular não deve significar simplificação empobrecedora. O desafio é construir sistemas que preservem rigor científico, mas traduzam seus resultados em linguagem

pública. A inteligência territorial socialmente apropriável exige precisão e clareza, método e comunicação, análise e pedagogia. O WebSIG do século XXI deve ser um instrumento de mediação entre a complexidade técnica dos dados e a urgência social das decisões (figura 45).

Figura 45 - Capacidade técnica → mediação → apropriação social



5.10. Considerações finais

Este capítulo mostrou que os SIG devem ser lidos no interior da transformação do meio técnico-científico-informacional. Sua evolução acompanha a história dos computadores, das redes, dos bancos de dados, do sensoriamento remoto, da internet, da computação em nuvem e das interfaces digitais. Mas essa história não é apenas técnica: ela altera a forma como o espaço é produzido, conhecido, administrado e disputado.

Dos mainframes aos WebSIGs, houve uma ampliação expressiva da capacidade de processar informações geográficas. No entanto, a barreira entre capacidade técnica e apropriação social permanece como desafio central. O problema contemporâneo já não é apenas produzir mais dados, mas transformá-los em inteligência territorial socialmente compreensível, institucionalmente utilizável e politicamente relevante.

Referências bibliográficas

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

DE BY, Rolf A. (ed.). **Principles of Geographic Information Systems: an introductory textbook**. 2. ed. Enschede: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 2001.

GASPAR, Joaquim Alves. **Cartas e projeções cartográficas**. Lisboa: Lidel, 2014.

GOODCHILD, Michael F. **Citizens as sensors: the world of volunteered geography**. *GeoJournal*, v. 69, p. 211-221, 2007.

GORELICK, Noel et al. **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone**. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017.

HEY, Tony; TANSLEY, Stewart; TOLLE, Kristin (org.). **The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery**. Redmond: Microsoft Research, 2009.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

LONGLEY, Paul A.; GOODCHILD, Michael F.; MAGUIRE, David J.; RHIND, David W. **Geographic Information Science and Systems**. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2015.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

TOMLINSON, Roger F. **A Geographic Information System for Regional Planning**. Ottawa: Department of Forestry and Rural Development, Government of Canada, 1968.

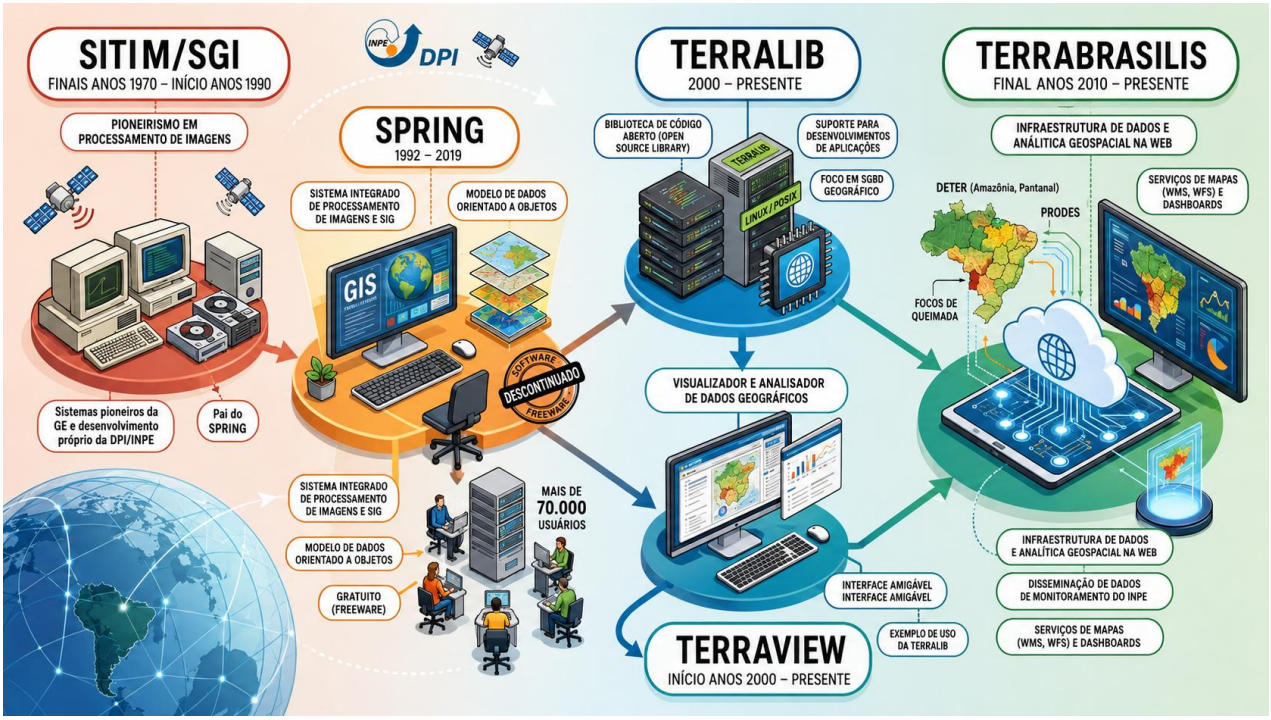
Capítulo 6 - O pioneirismo brasileiro: INPE, SITIM/SGI, SPRING, TerraLib, TerraView e TerraBrasilis

A história dos Sistemas de Informação Geográfica no Brasil possui uma dimensão pioneira frequentemente subestimada. O país não foi apenas receptor passivo de tecnologias desenvolvidas nos centros hegemônicos de produção científica e computacional. Ao contrário, construiu uma trajetória própria em geoinformação, fortemente associada ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE - e, em especial, à sua Divisão de Processamento de Imagens - DPI. Essa trajetória articulou sensoriamento remoto, processamento digital de imagens, bancos de dados geográficos, análise espacial, modelagem, desenvolvimento de software e monitoramento ambiental, consolidando uma cultura técnica e científica voltada às necessidades brasileiras (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; INPE, s.d.).

Essa história é importante por pelo menos três razões. Primeiro, porque demonstra que a geoinformação no Brasil esteve ligada, desde cedo, à produção pública de conhecimento territorial. Segundo, porque revela a centralidade do INPE na formação de gerações de pesquisadores, técnicos e usuários de geoprocessamento. Terceiro, porque mostra que o desenvolvimento de softwares nacionais - como SITIM, SGI, SPRING, TerraLib, TerraView e TerraBrasilis - esteve associado não apenas à inovação tecnológica, mas também à autonomia científica, à soberania informacional e ao monitoramento ambiental do território brasileiro (INPE, s.d.; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). O próprio INPE registra, em sua página sobre softwares livres, o desenvolvimento de ferramentas como SPRING, TerraLib, TerraView, TerraMA2, TerraAmazon, LuccME e INPE-EM, reforçando a relevância institucional dessa linhagem para a geoinformação brasileira.

A formulação deste capítulo parte da necessidade de compreender a linhagem **SITIM/SGI - SPRING - TerraLib/TerraView - TerraBrasilis** como uma trajetória nacional de geoinformação, e não apenas como uma sucessão de programas computacionais. Também é importante registrar a correção terminológica: nas fontes do INPE, a sigla aparece como **SITIM/SGI**, e não "STIM". Trata-se da integração entre o Sistema de Tratamento de Imagens - SITIM - e o Sistema de Informações Geográficas - SGI -, que constituiu um dos primeiros ambientes nacionais de geoprocessamento (INPE, s.d.). A própria proposta de estruturação desta Parte III já apontava a importância de corrigir essa sigla e de tratar a história brasileira da geoinformação a partir dessa linhagem institucional (figura 46).

Figura 46 - Linha do tempo



6.1. A formação da geoinformação no Brasil

A formação da geoinformação no Brasil deve ser situada em um contexto mais amplo de institucionalização da pesquisa espacial, do sensoriamento remoto e do monitoramento territorial. Em um país de dimensões continentais, marcado por grandes biomas, fronteiras agrícolas em expansão, urbanização acelerada, desigualdades regionais e desafios ambientais de grande escala, a produção de informação geográfica não poderia depender apenas de levantamentos convencionais, bases cartográficas fragmentadas ou tecnologias importadas. Era necessário construir capacidade científica, técnica e institucional para observar, processar, interpretar e disponibilizar informações sobre o território brasileiro (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; INPE, s.d.).

O INPE desempenhou papel central nessa construção. Criado no contexto de desenvolvimento da pesquisa espacial brasileira, o instituto consolidou competências em meteorologia, observação da Terra, sensoriamento remoto, processamento de imagens e sistemas computacionais aplicados ao território. No campo da geoinformação, a DPI tornou-se um núcleo estratégico, responsável por desenvolver metodologias, softwares, bancos de dados e aplicações voltadas às demandas nacionais de análise espacial e monitoramento ambiental (INPE, s.d.). O histórico da DPI registra, por exemplo, o lançamento do SITIM em 1986 e a utilização do SITIM/SGI por universidades e institutos, evidenciando o papel formador desses sistemas na difusão do geoprocessamento no país.

Essa trajetória expressa uma dimensão fundamental do meio técnico-científico-informacional brasileiro. O território passou a ser observado por satélites, processado em laboratórios, organizado em bancos de dados e disponibilizado por sistemas computacionais. A geoinformação tornou-se uma infraestrutura de conhecimento necessária para políticas ambientais, planejamento territorial, agricultura, gestão

urbana, monitoramento de florestas, controle do desmatamento e produção científica (SANTOS, 1996; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

O caso brasileiro é especialmente relevante porque articula geoinformação e interesse público. Enquanto muitos SIG comerciais se desenvolveram sob forte orientação de mercado, a experiência do INPE consolidou uma tradição de desenvolvimento voltada à pesquisa, ao ensino, à difusão tecnológica e ao monitoramento ambiental. Essa orientação pública é fundamental para entender a passagem dos primeiros ambientes nacionais ao TerraBrasilis, plataforma web que hoje oferece acesso, consulta, análise e disseminação de dados espaciais gerados por programas governamentais de monitoramento ambiental, como PRODES e DETER (INPE, s.d.; TERRABRASILIS, s.d.).

6.2. O papel do INPE e da Divisão de Processamento de Imagens

A Divisão de Processamento de Imagens do INPE desempenhou papel estruturante na história brasileira dos SIG. Sua atuação não se restringiu à pesquisa acadêmica. A DPI desenvolveu sistemas, formou usuários, produziu metodologias, apoiou políticas públicas e contribuiu para a criação de uma cultura nacional de geoprocessamento. Em vez de apenas adaptar soluções estrangeiras, o INPE buscou especificar, projetar e desenvolver sistemas adequados às necessidades brasileiras, especialmente em processamento de imagens e geoprocessamento (INPE, s.d.; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Essa opção foi estratégica. O Brasil precisava lidar com problemas territoriais que exigiam escala, continuidade, capacidade analítica e autonomia tecnológica. O monitoramento da Amazônia, o acompanhamento da expansão agrícola, o estudo dos recursos naturais, a gestão ambiental e o planejamento urbano-regional demandavam sistemas capazes de integrar imagens de satélite, dados vetoriais, bancos de dados e análises espaciais. O desenvolvimento de tecnologias nacionais permitia adaptar os sistemas às condições institucionais, científicas e territoriais do país (INPE, s.d.; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Nesse sentido, a DPI ajudou a consolidar uma visão de geoinformação como campo interdisciplinar. O processamento de imagens não era tratado isoladamente da análise espacial; o sensoriamento remoto não era separado dos bancos de dados geográficos; o desenvolvimento de software não era desvinculado das necessidades de planejamento, pesquisa e monitoramento ambiental. Essa integração tornou-se uma marca da tradição brasileira de geoprocessamento (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; INPE, s.d.).

A presença de pesquisadores como Gilberto Câmara e Antônio Miguel Monteiro reforça essa dimensão teórica. Além do desenvolvimento tecnológico, o INPE contribuiu para a reflexão epistemológica sobre a Ciência da Geoinformação. Câmara, Monteiro e Medeiros propõem fundamentos conceituais para a área ao discutir como diferentes teorias do espaço podem ser capturadas - ou não - por representações computacionais. Assim, a contribuição do INPE não se limita à construção de ferramentas; inclui também a formulação de uma agenda teórica para pensar os limites e possibilidades dos SIG (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003) (figura 47).

Figura 47 - INPE/DPI como nó da geoinformação brasileira



6.3. SITIM/SGI e os primeiros ambientes nacionais

Antes do SPRING, a trajetória brasileira de geoinformação passou pelos sistemas SITIM e SGI. Segundo o histórico da DPI/INPE, em 1986 foi lançado o SITIM - Sistema de Tratamento de Imagens -, e a integração entre SITIM e SGI deu origem ao ambiente SITIM/SGI (INPE, s.d.). Essa integração é importante porque já expressava a necessidade de combinar processamento de imagens e informações geográficas em uma mesma estrutura técnica.

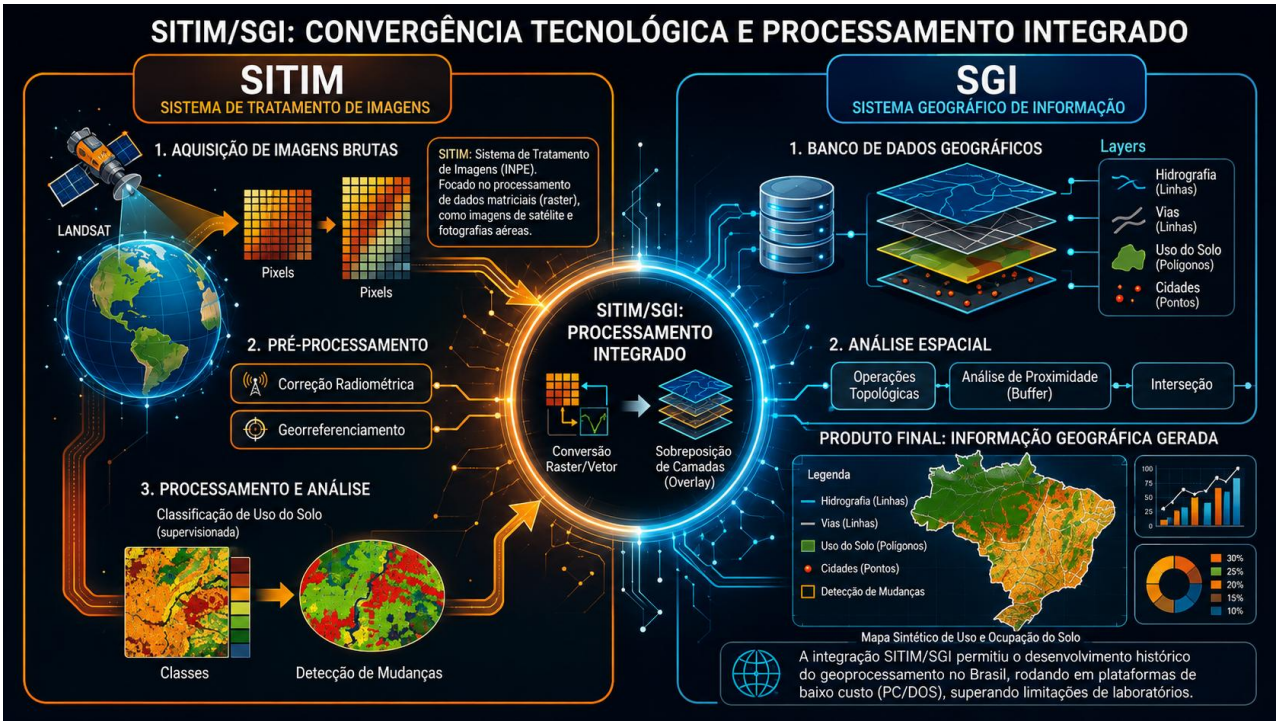
O SITIM estava associado ao processamento digital de imagens, particularmente imagens de sensoriamento remoto. O SGI, por sua vez, voltava-se à organização e análise de dados geográficos. A integração SITIM/SGI antecipava uma das características centrais dos SIG modernos no Brasil: a necessidade de articular dados raster, dados vetoriais, imagens orbitais, mapas temáticos, atributos e consultas espaciais em um mesmo ambiente de análise (INPE, s.d.; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Essa etapa teve grande importância formativa. Em um momento em que os computadores pessoais ainda tinham capacidade limitada e os softwares comerciais de SIG eram caros e pouco adaptados às necessidades nacionais, o desenvolvimento de ambientes próprios permitiu disseminar conhecimentos, formar usuários e criar uma base técnica para a evolução posterior. A experiência acumulada com SITIM/SGI preparou o caminho para o SPRING, que aprofundaria a integração entre processamento de imagens e geoprocessamento (INPE, s.d.).

A relevância do SITIM/SGI não está apenas em sua funcionalidade técnica, mas em seu significado institucional. Ele representa uma aposta na produção nacional de tecnologia geográfica. Em vez de depender exclusivamente de softwares estrangeiros, o INPE buscou construir soluções próprias,

ajustadas às demandas de sensoriamento remoto, gestão territorial e pesquisa ambiental no Brasil. Essa aposta seria aprofundada com o SPRING e, posteriormente, com TerraLib, TerraView e TerraBrasilis (INPE, s.d.) (figura 48).

Figura 48 - SITIM/SGI: processamento de imagens + informação geográfica



6.4. SPRING: um marco brasileiro de integração

O SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - representa um marco na história dos SIG no Brasil. Desenvolvido no âmbito do INPE/DPI, ele consolidou em um único ambiente funcionalidades de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno, manipulação de dados temáticos, consulta a bancos de dados espaciais e produção cartográfica (INPE, s.d.; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). A página oficial do SPRING registra que o conhecimento adquirido nesse sistema permitiu ao INPE conceber e desenvolver a TerraLib/TerraView, biblioteca de código aberto voltada a suportar aplicações geográficas.

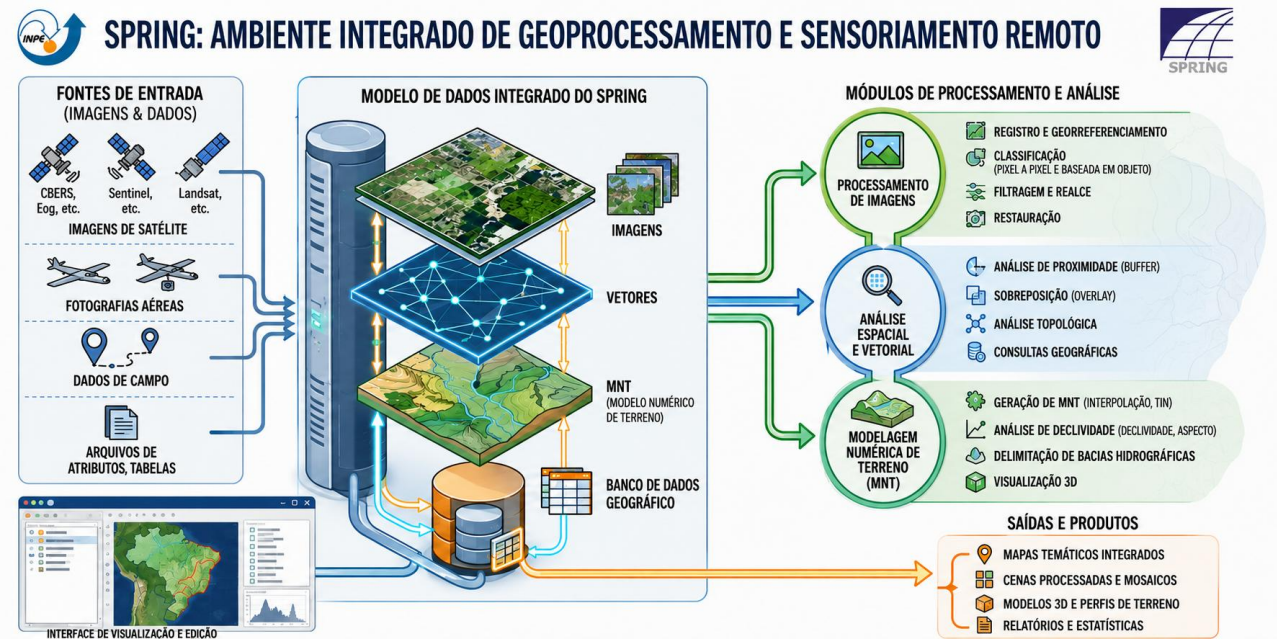
O SPRING foi importante porque integrou dimensões que muitas vezes apareciam separadas em outros ambientes computacionais. Ele não era apenas um software de cartografia, nem apenas um programa de processamento de imagens. Era um ambiente de geoprocessamento voltado a articular imagens orbitais, dados vetoriais, mapas temáticos, modelos numéricos e bancos de dados. Essa integração respondia diretamente às necessidades de um país que precisava monitorar grandes extensões territoriais e produzir conhecimento geográfico em múltiplas escalas (INPE, s.d.; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

O SPRING também teve papel pedagógico e institucional. Sua ampla difusão contribuiu para a formação de usuários de geoprocessamento no Brasil. Laboratórios universitários, órgãos públicos, pesquisadores e estudantes utilizaram o sistema como ambiente de aprendizado, produção de mapas e

análise espacial. Em um período em que softwares comerciais eram caros e nem sempre acessíveis, o SPRING funcionou como instrumento de democratização técnica do geoprocessamento, ainda que restrito sobretudo a usuários especializados (INPE, s.d.).

Entretanto, sua importância vai além da gratuidade ou disponibilidade. O SPRING representou uma visão de geoinformação integrada, na qual sensoriamento remoto, SIG e bancos de dados deveriam dialogar em um mesmo ambiente. Essa visão é fundamental para a história brasileira dos WebSIGs e plataformas territoriais contemporâneas, porque antecipa a necessidade de unir processamento, análise, visualização e disseminação de dados (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; INPE, s.d.) (figura 49).

Figura 49 - SPRING como ambiente integrado: imagens, vetores, MNT, banco, análise espacial



6.5. SPRING, soberania tecnológica e difusão do conhecimento

O desenvolvimento do SPRING precisa ser compreendido também como questão de soberania tecnológica. Ao construir um sistema nacional de geoprocessamento, o INPE contribuiu para reduzir a dependência de ferramentas estrangeiras, ampliar a autonomia de pesquisa e formar uma comunidade técnica brasileira capaz de compreender, adaptar e desenvolver metodologias próprias (INPE, s.d.; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Essa dimensão é especialmente relevante em áreas estratégicas como monitoramento ambiental, uso da terra e desmatamento. Um país que depende exclusivamente de tecnologias externas para observar seu próprio território limita sua capacidade de decisão, sua autonomia científica e sua soberania informacional. O desenvolvimento de sistemas nacionais permitiu ao Brasil formar especialistas, criar metodologias, adaptar ferramentas às suas demandas e produzir conhecimento público sobre seus biomas, cidades e regiões (INPE, s.d.; TERRABRASILIS, s.d.).

O SPRING tornou-se, nesse sentido, um mecanismo de difusão do conhecimento produzido pelo INPE e por sua rede de parceiros. Ao reunir algoritmos, metodologias e funcionalidades em um ambiente acessível, contribuiu para espalhar práticas de geoprocessamento pelo país. Essa difusão não eliminou as desigualdades técnicas, mas ampliou o número de instituições e usuários capazes de operar dados geográficos (INPE, s.d.).

Há aqui uma diferença importante entre popularização e democratização. O SPRING não transformou o SIG em ferramenta de uso cotidiano para cidadãos comuns, como fariam posteriormente plataformas comerciais de mapas digitais. Mas democratizou, em escala técnica e institucional, o acesso ao geoprocessamento entre universidades, órgãos públicos e profissionais. Ele ampliou a base nacional de especialistas e criou condições para o desenvolvimento de aplicações mais avançadas (INPE, s.d.; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

6.6. TerraLib: biblioteca aberta para aplicações geográficas

A trajetória do INPE não se encerra no SPRING. O conhecimento acumulado nesse sistema permitiu avançar para uma nova etapa: a TerraLib. Diferentemente de um software fechado de uso final, a TerraLib foi concebida como biblioteca de funções para construção de aplicações geográficas. A página oficial do projeto TerraLib/TerraView informa que o objetivo da TerraLib é desenvolver uma biblioteca de funções para construção de aplicações geográficas, livre de licença e de código aberto (INPE, s.d.).

Essa mudança é conceitualmente importante. O SPRING representava um ambiente integrado de geoprocessamento; a TerraLib representa uma infraestrutura de desenvolvimento. Ela oferece componentes para que diferentes aplicações possam ser construídas sobre uma base comum de funções geográficas. Isso desloca o foco do usuário final para a arquitetura de sistemas, permitindo que desenvolvedores criem soluções customizadas para problemas específicos (INPE, s.d.; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

A TerraLib também expressa uma mudança mais ampla na história dos SIG: a passagem dos softwares monolíticos para bibliotecas, componentes, bancos de dados espaciais e aplicações distribuídas. À medida que os SIG se tornam mais complexos, não basta ter um programa único. É necessário dispor de bibliotecas capazes de lidar com dados espaciais, integrar sistemas, apoiar consultas, operar modelos e dialogar com bancos de dados e interfaces diversas (INPE, s.d.).

O caráter aberto da TerraLib é central. Ao ser livre e de código aberto, a biblioteca permite inspeção, adaptação, desenvolvimento colaborativo e uso em diferentes contextos. Isso reforça a ideia de geoinformação como infraestrutura pública de conhecimento. A abertura do código não garante, por si só, democratização plena, mas cria condições mais favoráveis para autonomia tecnológica, formação de comunidades e desenvolvimento de soluções nacionais (INPE, s.d.) (figura 50).

Figura 50 - TerraLib como biblioteca: código aberto → aplicações geográficas



6.7. TerraView: SIG livre para visualização e análise

O TerraView surge como aplicação construída sobre a TerraLib, oferecendo ao usuário final um ambiente de visualização, consulta e análise geográfica. Se a TerraLib é biblioteca para desenvolvedores, o TerraView funciona como ferramenta de uso mais direto, permitindo manipular, visualizar e analisar dados espaciais. A Agência FAPESP registrou, em 2005, que o INPE disponibilizou gratuitamente o TerraView para análise de informações espaciais, destacando sua utilidade para setores como segurança pública e gestão urbana (FAPESP, 2005).

Essa iniciativa foi importante porque aproximou o desenvolvimento tecnológico do uso aplicado. O TerraView permitiu que usuários finais trabalhassem com dados geográficos em ambiente livre, articulando mapas, imagens, grades, pontos, linhas, polígonos e atributos. Ao fazê-lo, reforçou uma das marcas da tradição brasileira: integrar dados espaciais diversos em ambientes abertos e acessíveis (FAPESP, 2005; INPE, s.d.).

O TerraView também contribuiu para ampliar o uso de técnicas de análise espacial e estatística em problemas sociais e urbanos. A Agência FAPESP registrou, em 2012, que a ferramenta, desenvolvida por pesquisadores do INPE e construída com base na biblioteca TerraLib, permitia visualização e exploração de dados geográficos, com aplicações em segurança pública, gestão urbana, indicadores sociais, saúde pública, geografia e problemas ambientais (FAPESP, 2012).

A relevância do TerraView está, portanto, em sua posição intermediária. Ele não é apenas uma continuação do SPRING, nem apenas uma interface para a TerraLib. Ele representa uma etapa da trajetória brasileira em que a geoinformação aberta se aproxima de usuários técnicos e institucionais que

precisam analisar dados espaciais sem depender exclusivamente de soluções comerciais. Essa experiência contribuiu para consolidar a cultura do software livre e aberto no campo dos SIG no Brasil (FAPESP, 2005; FAPESP, 2012; INPE, s.d.) (figura 51).

Figura 51 - TerraView x TerraBrasilis



6.8. TerraBrasilis: da ferramenta SIG à plataforma web pública

O TerraBrasilis representa uma nova etapa nessa linhagem. Se SITIM/SGI e SPRING pertencem à história dos ambientes nacionais de geoprocessamento, e TerraLib/TerraView à história das bibliotecas e aplicações abertas, o TerraBrasilis expressa a passagem para a plataforma web de disseminação pública de dados geográficos. O próprio portal TerraBrasilis informa que se trata de uma plataforma desenvolvida pelo INPE para acesso, consulta, análise e disseminação de dados espaciais gerados por programas governamentais de monitoramento ambiental, como PRODES e DETER (TERRABRASILIS, s.d.).

Essa passagem é fundamental. O TerraBrasilis não é apenas um software para especialistas instalarem em suas máquinas. É uma plataforma pública de acesso a dados ambientais. Ela permite downloads em formatos vetoriais e raster, disponibiliza metadados, oferece serviços web e apresenta mapas e painéis interativos. O portal também informa que a plataforma segue um paradigma orientado a serviços e padrões interoperáveis de dados espaciais, incluindo WMS, WFS, WCS e CSW, em consonância com especificações da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE (TERRABRASILIS, s.d.).

Essa arquitetura aproxima o TerraBrasilis do debate contemporâneo sobre WebSIG. A plataforma transforma dados de monitoramento ambiental em serviços acessíveis, consultáveis e analisáveis pela web. Ela também explicita uma preocupação com usuários não especialistas: a página "About

TerraBrasilis" afirma que o portal permite que qualquer pessoa interaja com mapas sem exigir conhecimento adicional, ao mesmo tempo em que oferece painéis interativos com gráficos que sintetizam as informações produzidas, tornando-as mais compreensíveis (TERRABRASILIS, s.d.).

O TerraBrasilis é particularmente importante porque está ligado a programas estratégicos de monitoramento ambiental, como PRODES e DETER. Esses programas produzem dados fundamentais para compreender a supressão e degradação da vegetação nativa, especialmente na Amazônia e em outros biomas. O portal esclarece que o INPE quantifica e espacializa as ocorrências, mas não analisa sua legalidade, e que os dados visam subsidiar entidades públicas na formulação de políticas do Estado brasileiro (TERRABRASILIS, s.d.).

Essa formulação é muito importante para o argumento deste livro. O TerraBrasilis evidencia a passagem da geoinformação como ferramenta de especialista para a geoinformação como infraestrutura pública de dados. A plataforma articula monitoramento ambiental, interoperabilidade, transparência, serviços web, painéis e acesso aberto. Ela mostra que o WebSIG público pode ser instrumento de controle social, formulação de políticas e produção de conhecimento territorial em escala nacional (TERRABRASILIS, s.d.; INPE, s.d.).

6.9. Uma linhagem brasileira de geoinformação

A linhagem SITIM/SGI - SPRING - TerraLib/TerraView - TerraBrasilis permite contar a história brasileira da geoinformação como trajetória contínua de desenvolvimento técnico, institucional e político. Cada etapa expressa uma forma específica de responder aos desafios de seu tempo. O SITIM/SGI representa a integração inicial entre processamento de imagens e sistemas de informações geográficas; o SPRING consolida um ambiente nacional de geoprocessamento; a TerraLib desloca a geoinformação para o campo das bibliotecas abertas; o TerraView oferece uma ferramenta livre para visualização e análise; e o TerraBrasilis transforma dados de monitoramento ambiental em plataforma web pública, interoperável e acessível (INPE, s.d.; TERRABRASILIS, s.d.).

Essa trajetória é importante porque mostra que o Brasil desenvolveu uma cultura de geoinformação ligada à observação da Terra e ao interesse público. Não se trata apenas de softwares. Trata-se de uma infraestrutura intelectual, técnica e institucional que combina pesquisa, formação, desenvolvimento, monitoramento ambiental e disseminação de dados. O INPE funcionou como um dos principais centros dessa cultura (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003; INPE, s.d.).

Essa linhagem também ajuda a compreender a UrbVerde. Embora a UrbVerde tenha outra escala, outros objetivos e outra arquitetura institucional, ela se insere em uma tradição brasileira de produção pública de inteligência territorial. Assim como o TerraBrasilis busca disponibilizar dados ambientais de monitoramento em uma plataforma web, a UrbVerde procura organizar indicadores socioambientais urbanos de forma acessível, comparável e orientada a políticas públicas. A diferença está no foco: o TerraBrasilis se volta ao monitoramento ambiental dos biomas; a UrbVerde se volta à leitura intraurbana e municipal da adaptação climática, vegetação, temperatura, áreas verdes e desigualdades territoriais (LACERDA, 2025; TERRABRASILIS, s.d.).

O TCC de Vitor Lacerda mostra que a UrbVerde se classifica como um SIG e fornece dados socioambientais georreferenciados para todos os municípios do estado de São Paulo, apoiando políticas

públicas de adaptação e redução das desigualdades territoriais, com o objetivo de democratizar o acesso à análise dos dados e atuar como ferramenta de adaptação climática (LACERDA, 2025). Nesse sentido, a UrbVerde pode ser lida como herdeira ampliada de uma tradição brasileira que combina geoinformação, ciência pública e ação territorial (figura 52).

Figura 52 - Uma linhagem brasileira de geoinformação pública



6.10. Soberania informacional, ciência aberta e políticas públicas

A história brasileira da geoinformação também deve ser lida a partir da ideia de soberania informacional. Em um país de dimensões continentais, produzir conhecimento próprio sobre o território é condição para formular políticas públicas, monitorar recursos naturais, enfrentar crises ambientais, planejar cidades e defender interesses nacionais. A dependência exclusiva de plataformas comerciais ou de bases externas pode limitar a autonomia metodológica, a transparência dos dados e a continuidade institucional (INPE, s.d.; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

O desenvolvimento de sistemas como SPRING, TerraLib, TerraView e TerraBrasilis mostra que a geoinformação pode ser tratada como infraestrutura pública. Essa infraestrutura envolve código, dados, metodologias, equipes, documentação, serviços, padrões e instituições. Sua importância não se limita ao uso técnico: ela sustenta políticas ambientais, ações de fiscalização, pesquisas científicas, diagnósticos territoriais e debates públicos (INPE, s.d.; TERRABRASILIS, s.d.).

A ciência aberta e o software livre ampliam essa perspectiva. Ao disponibilizar ferramentas, bibliotecas e dados, instituições públicas fortalecem a capacidade de universidades, municípios, organizações sociais e pesquisadores produzirem análises independentes. O TerraBrasilis, ao oferecer downloads, metadados, serviços web e dashboards, aproxima-se de uma lógica de dados públicos interoperáveis e reutilizáveis (TERRABRASILIS, s.d.).

No entanto, a abertura não resolve todos os problemas. Dados abertos podem continuar tecnicamente difíceis de usar; plataformas públicas podem exigir conhecimento especializado; interfaces podem ser pouco acessíveis; municípios pequenos podem não ter equipes técnicas para interpretar informações complexas. Por isso, a soberania informacional precisa ser combinada com usabilidade, formação, linguagem clara e estratégias de apropriação social (LACERDA, 2025; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Essa é uma das lições para o WebSIG do século XXI. A produção nacional de tecnologia é fundamental, mas deve vir acompanhada de capacidade social de uso. Um sistema público não é democrático apenas porque seus dados estão disponíveis. Ele se torna democrático quando diferentes sujeitos conseguem compreender, interpretar e mobilizar esses dados para a ação pública (LACERDA, 2025).

6.11. Considerações finais

O pioneirismo brasileiro em geoinformação mostra que o país construiu uma trajetória própria, marcada pela atuação do INPE e de sua Divisão de Processamento de Imagens. Essa trajetória articulou sensoriamento remoto, processamento digital de imagens, análise espacial, bancos de dados geográficos e desenvolvimento de software, produzindo uma linhagem que vai de SITIM/SGI a SPRING, TerraLib, TerraView e TerraBrasilis.

Essa história demonstra que a geoinformação pode ser instrumento de soberania científica, monitoramento ambiental, formação técnica, transparência e políticas públicas. O SPRING difundiu o geoprocessamento em universidades e instituições públicas; a TerraLib abriu caminho para aplicações geográficas customizadas; o TerraView aproximou a tecnologia de usuários finais; e o TerraBrasilis levou essa tradição para a web, como plataforma pública de monitoramento ambiental.

Ao reconhecer essa trajetória, o livro evita uma leitura dependente da história global dos SIG. O Canadá foi central para o nascimento do SIG moderno; os Estados Unidos e a Europa foram fundamentais na expansão comercial e acadêmica do campo; mas o Brasil também produziu contribuições relevantes, especialmente na integração entre sensoriamento remoto, geoprocessamento e monitoramento ambiental. Essa tradição é indispensável para pensar o WebSIG do século XXI como infraestrutura pública, crítica e socialmente orientada.

Referências bibliográficas

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

FAPESP. **Ferramenta útil e gratuita**. Agência FAPESP, 22 fev. 2005.

FAPESP. **Curso de introdução ao TerraView**. Agência FAPESP, 9 abr. 2012.

INPE. **Histórico - Divisão de Processamento de Imagens**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, s.d.

INPE. **SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**. São José dos Campos: Divisão de Processamento de Imagens, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, s.d.

INPE. **TerraLib/TerraView**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, s.d.

INPE. **Softwares livres**. Brasília: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Gov.br, 2024.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

TERRABRASILIS. **Geographic Data Platform**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, s.d.

TERRABRASILIS. **About TerraBrasilis**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, s.d.

Capítulo 7 - Google Earth, Google Maps e a popularização da informação espacial

A popularização do Google Earth e do Google Maps marcou uma mudança importante na história social da geoinformação. Milhões de pessoas passaram a manipular imagens de satélite, buscar lugares, calcular rotas, reconhecer cidades, localizar endereços, comparar paisagens e se orientar no território por meio de interfaces digitais. Esse processo não eliminou a distância entre especialistas e usuários, nem substituiu os Sistemas de Informação Geográfica no sentido analítico clássico. Mas reduziu a estranheza social diante da informação espacial. A geoinformação deixou de ser percebida como domínio exclusivo de cartógrafos, geógrafos, engenheiros, planejadores e técnicos em geoprocessamento e passou a integrar a vida cotidiana (GOODCHILD, 2007; LACERDA, 2025).

Essa virada cultural precisa ser compreendida no interior da passagem do SIG de especialista ao SIG popular. Google Maps e Google Earth não são SIG completos no mesmo sentido de plataformas voltadas à análise espacial avançada, à modelagem territorial ou ao cruzamento complexo de camadas socioambientais. Ainda assim, eles transformaram a experiência ordinária do espaço. Ao permitir que qualquer pessoa navegasse por mapas digitais, imagens de satélite e rotas interativas, essas plataformas produziram uma familiaridade social inédita com objetos antes restritos ao campo técnico da geoinformação (TURNER, 2006; WARF; SUI, 2010; LACERDA, 2025).

O Google Maps foi lançado em 8 de fevereiro de 2005, inicialmente como uma solução de desktop para ajudar usuários a se deslocarem de um ponto a outro; em 2020, segundo o próprio Google, a plataforma já era utilizada por mais de 1 bilhão de pessoas por mês em todo o mundo (GOOGLE, 2020). A mesma retrospectiva registra que, em meados de 2005, foi anunciada a API do Google Maps, abrindo caminho para a incorporação de mapas em sites e aplicações externas (GOOGLE, 2020). Em 29 de junho de 2010, o blog oficial do Google Maps registrou os cinco anos da JavaScript Maps API, indicando que ela havia sido anunciada em 2005 e que, cinco anos depois, mais de 350 mil sites ativos já a utilizavam (GOOGLE, 2010).

No mesmo ano de 2005, o Google Earth ganhou projeção global. Segundo retrospectiva publicada pelo Google em 2025, a plataforma tornou-se viral em seu lançamento e alcançou 100 milhões de downloads na primeira semana (GOOGLE, 2025). Em 2011, o Google informou que o Google Earth havia ultrapassado 1 bilhão de downloads desde sua introdução em 2005, considerando o cliente desktop, aplicativos móveis e plug-in (GOOGLE, 2011). Esses dados indicam mais do que o sucesso comercial de produtos digitais: eles revelam uma transformação profunda na cultura espacial contemporânea. A cartografia digital deixou de circular apenas em laboratórios, órgãos públicos e empresas especializadas e passou a estar no navegador, no celular, nos deslocamentos cotidianos, nas buscas por serviços, no planejamento de viagens, na visualização de bairros e na curiosidade ordinária sobre o planeta (figura 53).

Figura 53 - Do SIG de especialista ao SIG popular



7.1. A emergência da geoweb

A emergência da geoweb designa o momento em que a informação geográfica passa a circular amplamente pela internet, articulando mapas interativos, imagens de satélite, serviços de localização, bases colaborativas, APIs, plataformas móveis e aplicações digitais. Não se trata apenas de publicar mapas na web. Trata-se de incorporar a localização como dimensão estruturante da experiência digital, convertendo o espaço em camada permanente de consulta, navegação, comunicação e organização da vida cotidiana (TURNER, 2006; WARF; SUI, 2010).

Com a geoweb, o espaço deixa de ser apenas objeto de especialistas e passa a organizar práticas comuns: buscar uma rota, escolher um restaurante, acompanhar o trânsito, solicitar transporte, localizar equipamentos públicos, avaliar distâncias, compartilhar endereços, visualizar imagens de satélite, marcar lugares e construir mapas personalizados. A informação espacial passa a ser mediada por plataformas digitais e incorporada a decisões ordinárias da vida urbana. Essa mudança amplia o contato social com a cartografia, mas também desloca a geoinformação para dentro de ecossistemas técnicos, corporativos e comunicacionais mais amplos (GOODCHILD, 2007; ELWOOD; GOODCHILD; SUI, 2012).

Essa transformação tem relação direta com a evolução dos WebSIGs. O trabalho de Lacerda observa que, desde o início do século XXI, uma das linhas de pesquisa e desenvolvimento mais relevantes em geoprocessamento é o acesso a dados geográficos via navegador, denominados WebSIGs. O mesmo trabalho destaca que as primeiras gerações eram pouco interativas: o usuário preenchia formulários, escolhia região e camadas, e recebia uma imagem estática, sem navegação fluida no mapa (LACERDA, 2025).

A geoweb altera essa condição. O mapa deixa de ser uma imagem devolvida pelo servidor e passa a ser um ambiente navegável, fluido, interativo e incorporável em múltiplas aplicações. Isso não significa que todos os mapas da geoweb sejam SIGs no sentido analítico forte. Muitos são serviços de visualização, busca e navegação. Mas, do ponto de vista cultural, eles tornam a experiência cartográfica digital uma prática social ampla, preparando o usuário comum para interagir com camadas, rotas, imagens e localização (TURNER, 2006; WARF; SUI, 2010).

Essa ampliação do acesso produz uma mudança de percepção. O usuário comum passa a reconhecer convenções cartográficas digitais: zoom, pan, camadas, marcadores, rotas, visualização por satélite, busca por endereço, localização em tempo real e navegação orientada. Mesmo sem domínio técnico de projeções, bancos espaciais ou análise geográfica, ele se torna familiarizado com a ideia de que o espaço pode ser consultado digitalmente. Esse aprendizado cultural é uma condição importante para o desenvolvimento posterior de WebSIGs públicos e sociais (GOODCHILD, 2007; LACERDA, 2025).

7.2. Google Maps, APIs e mapas incorporados à web

O Google Maps foi fundamental para a popularização dos mapas interativos na web. Sua inovação não consistiu apenas em disponibilizar mapas digitais, mas em oferecer uma experiência de navegação fluida, com deslocamento, zoom, busca e interação em ambiente web. Essa fluidez alterou a expectativa dos usuários sobre o que um mapa digital deveria ser. O mapa deixou de ser uma imagem estática e passou a ser uma interface de navegação, consulta e orientação cotidiana (GOOGLE, 2020).

O lançamento do Google Maps em fevereiro de 2005 marca, portanto, uma inflexão na cartografia digital pública. A própria retrospectiva do Google afirma que o serviço nasceu como solução para ajudar pessoas a se deslocarem de um ponto a outro e registra seu uso mensal por mais de 1 bilhão de pessoas em 2020 (GOOGLE, 2020). Esse alcance global indica que o mapa digital tornou-se infraestrutura cotidiana, não apenas ferramenta técnica.

A disponibilização da Google Maps API em 2005 ampliou ainda mais essa transformação. Ao permitir que desenvolvedores incorporassem mapas em sites e aplicações, a API contribuiu para a proliferação de mapas em portais, serviços urbanos, páginas institucionais, aplicativos comerciais, projetos colaborativos e ferramentas de localização. O blog oficial do Google Maps recorda que a JavaScript Maps API foi anunciada em 2005 e que, cinco anos depois, mais de 350 mil sites ativos faziam uso dela (GOOGLE, 2010).

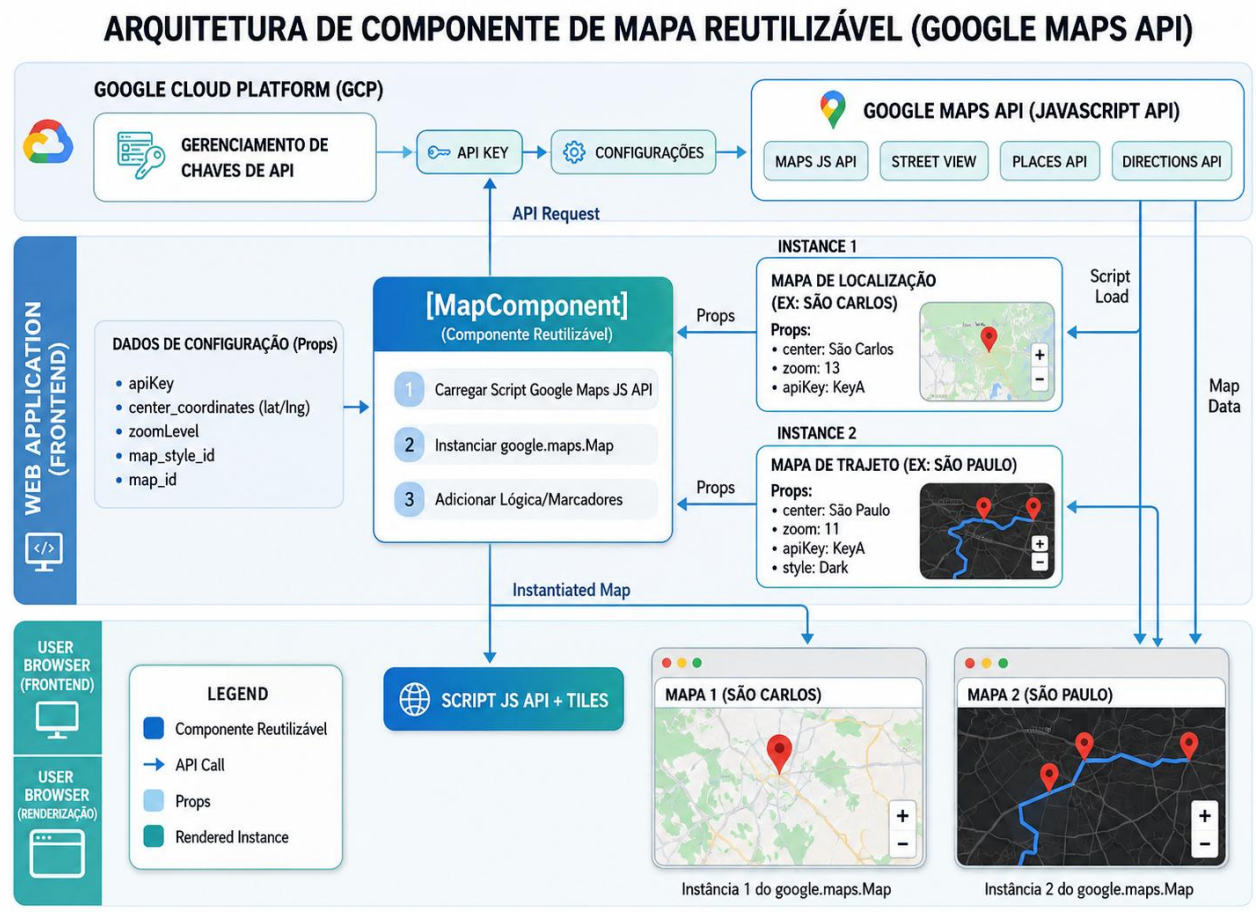
Essa abertura acelerou a cultura dos *mashups* cartográficos: aplicações que combinavam mapas com dados externos. O mapa tornou-se uma base sobre a qual outros conteúdos poderiam ser localizados: imóveis, crimes, serviços, pontos turísticos, eventos, equipamentos públicos, fotografias, trajetos, avaliações, estabelecimentos e informações colaborativas. A cartografia entrou na lógica da web como componente reutilizável, incorporável e combinável (GOOGLE, 2010; TURNER, 2006).

Do ponto de vista da história dos SIG, esse processo é ambivalente. Por um lado, popularizou a informação espacial e tornou mapas digitais familiares para milhões de pessoas. Por outro, consolidou uma forma de uso centrada na navegação, na localização e no consumo de serviços, não

necessariamente na análise crítica do território. O usuário passou a localizar com facilidade, mas nem sempre a interpretar relações espaciais complexas (LACERDA, 2025; WARF; SUI, 2010).

Lacerda observa que plataformas amplamente acessíveis, como o Google Maps, revolucionaram a forma como o público interage com o espaço geográfico, mas ainda restringem a capacidade dos usuários de sobrepor camadas analíticas e gerar análises socioambientais complexas sobre locais de interesse (LACERDA, 2025). Essa observação é central: a popularização da interface cartográfica não deve ser confundida com democratização plena da análise geográfica (figura 54).

Figura 54 - API do Google Maps e mapas incorporados à web



7.3. Google Earth e a visualização planetária

Se o Google Maps transformou a navegação cotidiana, o Google Earth transformou a imaginação visual do planeta. Pela primeira vez em escala massiva, usuários não especializados puderam "voar" sobre a Terra, aproximar-se de continentes, países, cidades, bairros, rios, florestas, montanhas e edifícios, combinando imagens de satélite, visualização tridimensional e exploração interativa. O planeta tornou-se manipulável na tela, e a imagem orbital passou a fazer parte da cultura visual comum (GOOGLE, 2011; GOOGLE, 2025).

Essa experiência teve grande impacto cultural. A retrospectiva oficial do Google Earth afirma que a plataforma tornou-se viral no lançamento e alcançou 100 milhões de downloads na primeira semana (GOOGLE, 2025). Em 2011, o Google informou que o Google Earth havia ultrapassado 1 bilhão de downloads desde sua introdução em 2005, considerando cliente desktop, aplicativos móveis e plug-in (GOOGLE, 2011). Esses números revelam a força da visualização planetária como experiência social.

O Google Earth não apenas mostrava mapas; ele oferecia uma experiência visual de escala. O usuário podia passar do globo ao bairro, do continente à rua, do planeta à paisagem. Essa mudança reforçou uma percepção fundamental: o território é simultaneamente local e global. A casa, a cidade, a floresta e o planeta passaram a aparecer em continuidade visual, mediados por imagens orbitais e interfaces digitais (GOOGLE, 2025; GOODCHILD, 2007).

Essa experiência também produziu efeitos pedagógicos. Escolas, universidades, jornalistas, pesquisadores e cidadãos passaram a utilizar imagens de satélite para reconhecer lugares, comparar transformações, visualizar paisagens, discutir desmatamento, urbanização, relevo, rios, fronteiras e desigualdades espaciais. Mesmo sem operar um SIG técnico, o usuário passou a compreender que imagens orbitais podiam revelar aspectos importantes da organização do território (GOODCHILD, 2007; ELWOOD; GOODCHILD; SUI, 2012).

No entanto, o Google Earth também deve ser interpretado criticamente. A visualização planetária pode produzir sensação de domínio visual sobre o mundo. Ver de cima não significa compreender. A imagem de satélite mostra formas, padrões e texturas, mas não explica por si só as relações sociais, políticas, econômicas e ambientais que produzem o espaço. A interface cria proximidade visual, mas não necessariamente interpretação crítica (HARLEY, 1989; WARF; SUI, 2010).

Essa distinção é fundamental para o WebSIG do século XXI. A familiarização com imagens de satélite é uma conquista cultural importante, mas deve ser articulada a dados, indicadores, conceitos, métodos e políticas públicas. O desafio não é apenas ver melhor o território; é compreender o que se vê (LACERDA, 2025; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001) (figura 55).

Figura 55 - Globo digital e visualização planetária



7.4. A familiarização social com imagens de satélite

A popularização de Google Earth e Google Maps reduziu a distância simbólica entre o usuário comum e a informação espacial. Antes, imagens de satélite eram associadas a especialistas, instituições militares, centros de pesquisa, meteorologia, sensoriamento remoto e planejamento técnico. Com as plataformas digitais, elas passaram a fazer parte do cotidiano: localizar uma casa, reconhecer uma praia, observar uma cidade, comparar bairros ou visualizar trajetos tornou-se prática comum (GOOGLE, 2011; GOOGLE, 2025).

Essa familiarização produziu uma alfabetização espacial informal. Usuários aprenderam a interpretar cores, texturas, manchas urbanas, rios, estradas, áreas vegetadas, formas agrícolas, densidades construídas e diferenças entre visualização cartográfica e visualização por satélite. Mesmo de modo intuitivo, passaram a reconhecer que a superfície terrestre pode ser observada, comparada e explorada por imagens digitais (GOODCHILD, 2007; TURNER, 2006).

Esse processo dialoga com a emergência de novas formas de participação geográfica. Goodchild propôs a ideia de *Volunteered Geographic Information* para caracterizar situações nas quais cidadãos atuam como sensores e produtores de informação geográfica, contribuindo com dados, observações, marcações e registros espaciais (GOODCHILD, 2007). A geoweb torna possível que o usuário deixe de ser apenas receptor de mapas e passe também a produzir, corrigir, complementar ou compartilhar informações geográficas (ELWOOD; GOODCHILD; SUI, 2012).

Essa mudança também aparece no trabalho de Lacerda, que inclui a VGI - *Volunteered Geographic Information* - entre os conceitos relevantes para discutir a democratização dos SIG e a participação de usuários na produção e interpretação de dados geográficos. Segundo o autor, a VGI transforma o cidadão em consumidor e produtor de informação geográfica, ainda que a barreira da análise complexa

permaneça quando conceitos abstratos precisam ser traduzidos em representações computacionais (LACERDA, 2025).

No entanto, a participação não é automaticamente democrática. Ela depende de acesso à internet, letramento digital, domínio mínimo das interfaces, confiança nas plataformas, capacidade de interpretação e condições sociais de uso. Além disso, contribuições voluntárias podem reproduzir desigualdades territoriais: áreas mais ricas, conectadas e digitalmente ativas tendem a ser mais mapeadas do que áreas pobres, periféricas ou rurais. Assim, a geoweb amplia possibilidades, mas também revela novas desigualdades (ELWOOD; GOODCHILD; SUI, 2012; WARF; SUI, 2010).

A familiarização social com imagens de satélite deve ser entendida, portanto, como etapa necessária, mas insuficiente. Ela aproxima os usuários da geoinformação, mas não elimina a necessidade de mediação pedagógica, interpretação crítica e políticas públicas de dados. O WebSIG social precisa partir dessa familiaridade e transformá-la em capacidade de leitura territorial (LACERDA, 2025; GOODCHILD, 2007) (figura 56).

Figura 56 - Alfabetização espacial informal: familiarização social com SIG



7.5. Limites das plataformas comerciais: visualização sem análise crítica

Google Maps e Google Earth transformaram a relação cotidiana com mapas e imagens de satélite, mas possuem limites claros quando analisados à luz da Ciência da Geoinformação e das políticas públicas. O primeiro limite é analítico. Essas plataformas foram concebidas prioritariamente para visualização, busca, navegação, localização, orientação e exploração, não para análise espacial complexa em sentido pleno. Um SIG analítico permite cruzar camadas, calcular indicadores, realizar consultas espaciais, modelar fenômenos, comparar unidades territoriais, operar séries temporais, trabalhar com bancos de dados e produzir diagnósticos (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; LONGLEY et al., 2015).

O segundo limite é metodológico. Muitas informações apresentadas por plataformas comerciais não são acompanhadas por explicações detalhadas sobre métodos, critérios, escalas, incertezas, fontes e processos de atualização. Para usos cotidianos, isso pode ser suficiente. Para políticas públicas, pesquisa acadêmica ou diagnóstico territorial, essa opacidade é problemática. A decisão pública exige rastreabilidade metodológica, especialmente quando dados espaciais orientam investimentos, prioridades, regulações ou intervenções urbanas (HARLEY, 1989; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

O terceiro limite é político. Plataformas comerciais operam segundo modelos de negócio, infraestruturas privadas, termos de uso e lógicas corporativas. Isso não invalida sua utilidade, mas impõe cautela. A informação espacial torna-se parte de ecossistemas empresariais de dados, publicidade, mobilidade, consumo e serviços. A geoinformação cotidiana é mediada por plataformas que também coletam, organizam e monetizam dados de localização (ZUBOFF, 2019; WARF; SUI, 2010).

O quarto limite é epistemológico. A visualização pode produzir sensação de conhecimento. Um usuário pode ver uma cidade por satélite e acreditar que compreendeu sua estrutura. Mas a imagem não revela, por si só, renda, raça, informalidade, precariedade habitacional, risco ambiental, conflito fundiário, acesso desigual a parques ou exposição climática. O espaço visível é apenas uma camada do espaço social (HARLEY, 1989; SANTOS, 1996).

Por isso, a crítica às plataformas comerciais não deve ser uma rejeição. Google Maps e Google Earth cumpriram papel importante na popularização da informação espacial. O problema está em confundir navegação com análise, visualização com conhecimento e acesso com democratização. O WebSIG do século XXI precisa avançar justamente nesse ponto: transformar a familiaridade produzida pelas plataformas comerciais em inteligência territorial pública, crítica e orientada à ação (LACERDA, 2025) (figura 57).

Figura 57 - Plataformas comerciais: potência e limite



7.6. Da navegação cotidiana à inteligência territorial pública

A passagem da navegação cotidiana à inteligência territorial pública é um dos movimentos centrais deste livro. A navegação cotidiana responde a perguntas como: onde estou? Como chegar? Qual é o caminho mais rápido? Onde fica determinado lugar? A inteligência territorial pública responde a perguntas de outra natureza: quem está mais exposto ao calor? Que bairros têm menos vegetação? Onde faltam praças? Quais populações vivem em áreas de risco? Que políticas podem reduzir desigualdades ambientais? Como monitorar a efetividade das ações públicas? (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; LACERDA, 2025).

Essa diferença indica a distância entre mapa como serviço e WebSIG como infraestrutura pública. O mapa como serviço organiza deslocamentos e buscas. O WebSIG público organiza diagnósticos, indicadores, análises e decisões. Ambos utilizam informação espacial, mas com finalidades distintas. A popularização do primeiro pode favorecer a apropriação do segundo, desde que haja mediação adequada (GOODCHILD, 2007; LACERDA, 2025).

A UrbVerde se insere nesse horizonte. Lacerda afirma que a plataforma fornece dados socioambientais georreferenciados para todos os municípios do estado de São Paulo, apoiando políticas públicas de adaptação climática e redução das desigualdades territoriais, com o objetivo de democratizar o acesso à análise dos dados e atuar como ferramenta de adaptação climática (LACERDA, 2025). Essa formulação aproxima o WebSIG de uma função pública: não apenas mostrar mapas, mas apoiar interpretação e ação.

A diferença entre uma plataforma de navegação e um WebSIG social está na capacidade de relacionar dados, conceitos e políticas. Uma plataforma de navegação pode mostrar onde está uma praça. Um WebSIG social precisa mostrar quem tem acesso à praça, qual a distância média da população, que bairros são desassistidos, como isso se relaciona com renda, temperatura, vegetação e políticas de espaços livres. A inteligência territorial nasce dessa capacidade de relação (SANTOS, 1996; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

O desafio é tornar essa análise acessível a públicos diversos. Gestores municipais, professores, estudantes, jornalistas, organizações sociais e cidadãos não necessariamente dominam geoprocessamento. Por isso, a interface precisa traduzir indicadores, orientar perguntas, permitir comparações, explicar conceitos, oferecer gráficos, possibilitar downloads e manter transparência metodológica. A popularização da geoinformação só se torna democratização quando o usuário consegue interpretar e agir (LACERDA, 2025).

Nesse sentido, Google Maps e Google Earth podem ser vistos como antecedentes culturais do WebSIG social. Eles ensinaram milhões de pessoas a interagir com mapas digitais. Mas o próximo passo é ensinar a sociedade a interpretar criticamente o território a partir de dados. A navegação cotidiana abriu a porta; a inteligência territorial pública precisa atravessá-la (GOODCHILD, 2007; LACERDA, 2025) (figura 58).

Figura 58 - Navegação cotidiana x inteligência territorial pública



7.7. A geoweb, a VGI e o usuário como produtor de informação

A popularização dos mapas digitais também alterou o papel do usuário. No SIG clássico, o usuário comum aparecia majoritariamente como receptor de produtos cartográficos. Na geoweb, ele passa a interagir, comentar, marcar, corrigir, compartilhar e produzir informações espaciais. Essa mudança é fundamental para a discussão sobre VGI e neogeografia (GOODCHILD, 2007; TURNER, 2006).

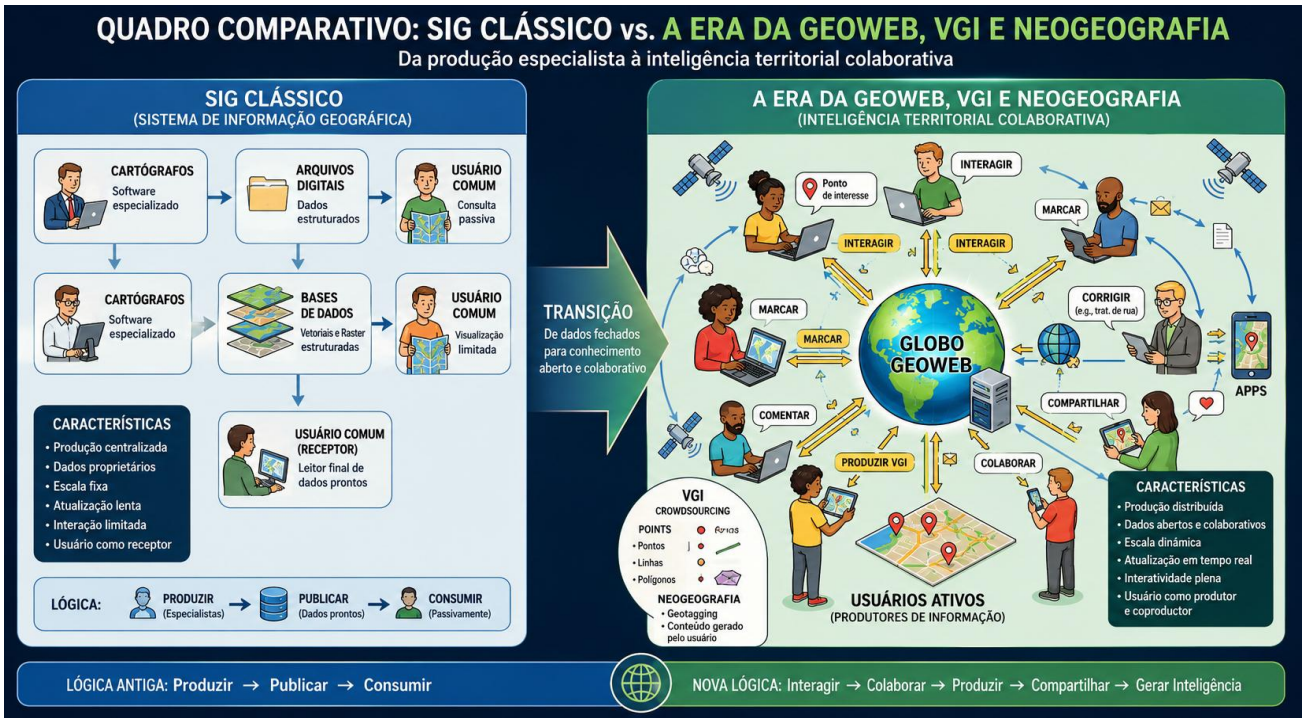
Goodchild descreveu a VGI como um fenômeno no qual cidadãos funcionam como sensores, produzindo voluntariamente informações geográficas que podem complementar bases oficiais e ampliar a capilaridade dos dados espaciais (GOODCHILD, 2007). Esse deslocamento possui grande potencial democrático, pois moradores podem registrar problemas urbanos, mapear equipamentos, indicar riscos, contribuir com dados de mobilidade, atualizar informações locais, produzir cartografias comunitárias e participar de processos de planejamento (ELWOOD; GOODCHILD; SUI, 2012).

Mas também há riscos. Dados voluntários podem ser desiguais, incompletos, enviesados ou concentrados em áreas com maior conectividade. Também podem envolver questões de privacidade, segurança, consentimento e representação. Além disso, a participação em plataformas comerciais nem sempre se traduz em controle público dos dados produzidos. O usuário contribui, mas nem sempre governa a infraestrutura que armazena, processa e monetiza sua contribuição (ELWOOD; GOODCHILD; SUI, 2012; ZUBOFF, 2019).

O WebSIG do século XXI precisa aprender com a VGI, mas não pode reduzi-la a coleta espontânea de dados. A participação deve ser orientada por protocolos, ética, validação, transparência e retorno social. Se a sociedade contribui com informação, deve também se beneficiar de sua análise. A inteligência

territorial pública exige não apenas participação na produção de dados, mas também participação na interpretação e no uso político desses dados (GOODCHILD, 2007; LACERDA, 2025) (figura 58).

Figura 58 - Usuário como produtor de informação geográfica



7.8. A virada cultural e seus efeitos na educação territorial

A popularização de Google Maps e Google Earth também teve impactos relevantes na educação territorial. Professores passaram a utilizar imagens de satélite e mapas interativos para discutir bairros, cidades, biomas, rios, relevo, urbanização, desmatamento, clima, mobilidade e desigualdades. A cartografia deixou de depender exclusivamente de atlas impressos e mapas de parede, incorporando interfaces digitais capazes de aproximar escalas e lugares (GOODCHILD, 2007; GOOGLE, 2011).

Essa transformação ampliou a potência didática da geoinformação. O estudante pode localizar sua escola, observar seu bairro, comparar áreas verdes, reconhecer rios canalizados, identificar padrões de ocupação, visualizar expansão urbana e relacionar paisagem local a processos regionais ou globais. A experiência de navegar pelo território torna o aprendizado mais situado e concreto (GOODCHILD, 2007; ELWOOD; GOODCHILD; SUI, 2012).

No entanto, a educação territorial não pode se limitar à exploração visual. É preciso desenvolver leitura crítica. A imagem de satélite deve ser interrogada: o que ela mostra? O que ela oculta? Qual é sua escala? Quando foi produzida? Que processos sociais explicam aquela forma urbana? Que desigualdades aparecem ou desaparecem? Que dados complementares são necessários? Essas perguntas transformam visualização em conhecimento (HARLEY, 1989; SANTOS, 1996).

A UrbVerde, ao oferecer indicadores socioambientais e interface voltada ao uso por diferentes públicos, pode ampliar esse horizonte. Em vez de apenas observar o bairro, estudantes podem analisar

cobertura vegetal, temperatura de superfície, acesso a praças, desigualdades territoriais e políticas públicas. A educação territorial passa, assim, da curiosidade cartográfica à interpretação socioambiental (LACERDA, 2025).

Essa dimensão educativa é central para o WebSIG do século XXI. Democratizar geoinformação não é apenas publicar dados. É formar sujeitos capazes de ler o território, compreender indicadores, relacionar fenômenos e participar de debates públicos. Google Maps e Google Earth ajudaram a popularizar a linguagem espacial digital. Cabe aos WebSIGs sociais transformar essa linguagem em instrumento de cidadania (GOODCHILD, 2007; LACERDA, 2025).

7.9. Entre consumo espacial e cidadania territorial

A popularização dos mapas digitais também produz uma tensão entre consumo espacial e cidadania territorial. De um lado, plataformas comerciais organizam a experiência espacial como serviço: rotas, avaliações, publicidade, localização de estabelecimentos, entrega, turismo, mobilidade e consumo. De outro, a informação espacial pode ser mobilizada como direito: direito à cidade, ao ambiente equilibrado, à informação pública, à participação, à adaptação climática e à justiça territorial (LEFEBVRE, 2001; SANTOS, 1996; ZUBOFF, 2019).

Essa tensão define o campo contemporâneo da geoinformação. O mesmo usuário que consulta uma rota pode também querer saber por que seu bairro é mais quente, por que há menos árvores, por que faltam praças, por que enchentes se repetem ou por que equipamentos públicos estão mal distribuídos. A plataforma comercial responde bem à primeira pergunta. O WebSIG social precisa responder às demais (LACERDA, 2025).

A cidadania territorial exige que a informação espacial seja compreensível, confiável e acionável. Um cidadão precisa saber não apenas onde está determinado problema, mas como ele se relaciona com outros indicadores, que políticas existem, quais metas podem ser cobradas e como acompanhar mudanças. A informação espacial torna-se instrumento de participação democrática quando permite formular reivindicações, avaliar políticas e disputar prioridades (GOODCHILD, 2007; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

A virada cultural dos mapas digitais, portanto, é ambígua. Ela pode aprofundar a dependência de plataformas privadas e reduzir o espaço a serviço de consumo. Mas também pode preparar a sociedade para formas mais críticas de leitura territorial. O resultado depende das instituições, das políticas de dados, das interfaces públicas e das experiências educativas capazes de transformar familiaridade digital em apropriação social (WARF; SUI, 2010; LACERDA, 2025).

É nesse sentido que o WebSIG do século XXI deve ser pensado como tecnologia pública. Ele precisa aproveitar a alfabetização espacial produzida por Google Maps e Google Earth, mas ir além dela. Precisa oferecer dados abertos, indicadores transparentes, análise socioambiental, participação, interpretação crítica e conexão com políticas públicas. A popularização da informação espacial deve ser convertida em cidadania territorial (LACERDA, 2025) (figura 59).

Figura 59 - Consumo espacial x cidadania territorial



7.10. Considerações finais

Google Maps e Google Earth promoveram uma virada cultural no acesso à informação espacial. Eles não substituíram os SIG analíticos, mas transformaram a relação cotidiana dos usuários com mapas, imagens de satélite, rotas, localização e visualização do planeta. A cartografia digital tornou-se familiar, cotidiana e incorporada às práticas sociais.

Essa popularização, contudo, tem limites. Ver não é compreender; navegar não é analisar; localizar não é interpretar. Plataformas comerciais oferecem serviços poderosos, mas não necessariamente permitem análise crítica de desigualdades, riscos, políticas públicas e processos socioambientais.

O desafio contemporâneo é transformar a familiaridade social com mapas digitais em capacidade pública de interpretação territorial. A UrbVerde se insere nesse horizonte ao buscar democratizar indicadores socioambientais e apoiar políticas de adaptação climática e redução das desigualdades. O WebSIG do século XXI deve aprender com a popularização promovida por Google Maps e Google Earth, mas avançar para além dela: da navegação cotidiana à inteligência territorial pública.

Referências bibliográficas

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

ELWOOD, Sarah; GOODCHILD, Michael F.; SUI, Daniel Z. **Researching volunteered geographic information: spatial data, geographic research, and new social practice**. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 102, n. 3, p. 571-590, 2012.

GOODCHILD, Michael F. **Citizens as sensors: the world of volunteered geography**. *GeoJournal*, v. 69, n. 4, p. 211-221, 2007.

GOOGLE. **Happy birthday: Google Maps API turns 5!** Google Maps Platform Blog, 2010.

GOOGLE. **Google Earth downloaded more than one billion times**. Google Blog, 2011.

GOOGLE. **A look back at 15 years of mapping the world**. Google Blog, 2020.

GOOGLE. **Our favorite moments from 20 years of Google Earth**. Google Blog, 2025.

HARLEY, John Brian. **Deconstructing the map**. *Cartographica*, v. 26, n. 2, p. 1-20, 1989.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

LEFEBVRE, Henri. **O direito à cidade**. São Paulo: Centauro, 2001.

LONGLEY, Paul A.; GOODCHILD, Michael F.; MAGUIRE, David J.; RHIND, David W. **Geographic Information Science and Systems**. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2015.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

TURNER, Andrew. **Introduction to Neogeography**. Sebastopol: O'Reilly Media, 2006.

WARF, Barney; SUI, Daniel. **From GIS to neogeography: ontological implications and theories of truth**. *Annals of GIS*, v. 16, n. 4, p. 197-209, 2010.

ZUBOFF, Shoshana. **The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power**. New York: PublicAffairs, 2019.

Parte IV - O WebSIG do século XXI: da plataforma estática à infraestrutura sociotécnica

A Parte IV deste livro marca a passagem do debate histórico e epistemológico para a formulação propositiva do **WebSIG do século XXI**. Até aqui, discutimos o nascimento dos Sistemas de Informação Geográfica, sua transformação de mapa em sistema, os fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação, a contribuição da Geografia Crítica e a popularização da informação espacial por meio da internet, da geoweb, do Google Maps e do Google Earth. Agora, o desafio é avançar uma hipótese central: o WebSIG contemporâneo não deve ser compreendido apenas como um mapa interativo publicado na internet, mas como uma **infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial**.

Essa afirmação exige superar uma leitura restrita do WebSIG como mera evolução técnica dos SIG tradicionais. Evidentemente, a passagem do SIG desktop para plataformas web envolve mudanças importantes: servidores de mapas, bancos de dados espaciais, APIs, bibliotecas JavaScript, tiles, renderização vetorial no navegador, computação em nuvem, painéis interativos e dispositivos móveis. No entanto, essas mudanças não são suficientes para definir o WebSIG do século XXI. Sua especificidade está na articulação entre dados, métodos, interfaces, usuários, instituições e políticas públicas. Ou seja, trata-se de uma plataforma técnica, mas também de um arranjo social, institucional e político (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

O ponto de partida desta parte é reconhecer que muitos WebSIGs ainda permanecem presos à lógica da publicação cartográfica. São plataformas que disponibilizam camadas, permitem navegação, oferecem ferramentas de zoom e consulta, mas não necessariamente ajudam o usuário a interpretar criticamente o território. A visualização, por si só, não produz inteligência territorial. Um mapa pode mostrar onde estão as áreas verdes, as ilhas de calor ou os setores mais vulneráveis, mas a interpretação dessas informações exige contexto, indicadores, conceitos, métodos, comparação, escala e conexão com problemas públicos. Por isso, o WebSIG do século XXI precisa avançar da exposição de dados para a produção social de sentido.

Essa mudança dialoga diretamente com a advertência de Câmara, Monteiro e Medeiros: computadores são ferramentas de representação da realidade, e as estruturas de dados e algoritmos disponíveis condicionam as formas pelas quais os problemas geográficos podem ser expressos computacionalmente (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). Assim, a arquitetura técnica de um WebSIG nunca é neutra. Ao escolher que dados serão processados, que camadas serão exibidas, que indicadores serão destacados, que filtros estarão disponíveis, que recortes territoriais serão adotados e que gráficos serão apresentados, a plataforma constrói uma determinada leitura do espaço.

É nesse sentido que a noção de **infraestrutura sociotécnica** se torna fundamental. Um WebSIG contemporâneo não é apenas um software, nem apenas um banco de dados, nem apenas uma interface cartográfica. Ele é composto por uma cadeia de elementos interdependentes: imagens de satélite, bases vetoriais, bancos relacionais, processamento em nuvem, scripts, APIs, servidores, bibliotecas de mapas, padrões de interoperabilidade, metadados, indicadores, textos explicativos, equipes técnicas, usuários, instituições parceiras, financiamento, manutenção e formas de uso em políticas públicas. A plataforma visível ao usuário é apenas a superfície de uma arquitetura muito mais ampla.

Essa perspectiva permite compreender a experiência da UrbVerde como laboratório do WebSIG do século XXI. A reestruturação analisada por Lacerda não se limitou à melhoria visual da plataforma. Ela envolveu escalabilidade, acessibilidade, organização do código, integração entre front-end e back-end, uso de banco de dados, APIs, MapLibre, PostgreSQL, metodologias centradas no usuário, Design Thinking, Double Diamond, heurísticas de usabilidade, linguagem simples e humanismo de dados (LACERDA, 2025). O caso revela que a democratização da geoinformação depende tanto da robustez técnica quanto da qualidade da mediação com os usuários.

A primeira questão desta parte, portanto, é a passagem do **WebSIG estático ao WebSIG dinâmico**. A primeira geração dos WebSIGs muitas vezes funcionava como uma extensão limitada do mapa impresso: o usuário selecionava alguns parâmetros e recebia uma imagem pronta, com pouca ou nenhuma possibilidade de interação. Com o avanço da internet, dos navegadores, das bibliotecas cartográficas e dos bancos de dados espaciais, o WebSIG passou a permitir navegação fluida, ativação de camadas, consulta de atributos, filtros, gráficos, painéis e interação em tempo real. Essa passagem, discutida no Capítulo 8, altera profundamente o papel do usuário: ele deixa de apenas visualizar um mapa e passa a explorar um sistema de informações territoriais (LACERDA, 2025).

No entanto, o dinamismo técnico não basta. Um WebSIG pode ser altamente interativo e, ainda assim, produzir pouca interpretação. Pode permitir zoom, pan, camadas e gráficos, mas não ajudar o usuário a compreender relações territoriais, desigualdades, vulnerabilidades ou prioridades de ação. Por isso, esta parte também discute a **barreira técnico-científica** que separa especialistas e usuários. A publicação de dados não garante apropriação social. A democratização da geoinformação exige linguagem clara, usabilidade, acessibilidade, explicação de indicadores, transparência metodológica e interfaces capazes de orientar diferentes públicos (NIELSEN, 1993; NORMAN, 2013; LACERDA, 2025).

Essa barreira pode ser compreendida como uma pirâmide. No topo, estão os especialistas capazes de produzir, processar, cruzar e interpretar dados espaciais complexos. Na base, há uma grande quantidade de usuários potenciais - gestores, professores, estudantes, jornalistas, organizações sociais e cidadãos - que podem se beneficiar da informação territorial, mas nem sempre dominam a linguagem técnica dos SIG. O WebSIG do século XXI precisa encurtar essa distância. Não se trata de eliminar o especialista, mas de socializar a inteligência territorial, permitindo que o conhecimento técnico seja traduzido em formas compreensíveis, verificáveis e acionáveis.

A segunda questão estruturante desta parte é a **engenharia do WebSIG do século XXI**. Uma plataforma pública de geoinformação exige muito mais do que um mapa interativo. Ela precisa organizar camadas de dados, processamento, banco, serviços, interface, interpretação, governança institucional e conexão política. Cada uma dessas camadas é indispensável. Dados sem método geram fragilidade; método sem interface gera isolamento; interface sem interpretação gera superficialidade; interpretação sem governança gera descontinuidade; diagnóstico sem política pública gera impotência. O WebSIG precisa ser pensado como uma cadeia completa de produção e uso do conhecimento territorial (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; GORELICK et al., 2017; LACERDA, 2025).

Essa engenharia deve incorporar também os desafios contemporâneos da computação em nuvem e do processamento em larga escala. Plataformas como Google Earth Engine permitem produzir indicadores geoespaciais em escalas antes impraticáveis, articulando grandes catálogos de imagens de satélite e infraestrutura computacional remota (GORELICK et al., 2017). Contudo, a capacidade de

processar grandes volumes de dados não resolve sozinha o problema público da geoinformação. É necessário transformar processamento em indicador, indicador em visualização, visualização em interpretação e interpretação em ação pública.

A terceira questão é a defesa do **WebSIG social**. Inspirado pela Geografia Crítica e pelo pensamento de Milton Santos, este livro sustenta que o WebSIG do século XXI precisa reconhecer que o espaço não é apenas uma superfície de distribuição de fenômenos, mas uma totalidade produzida por sistemas de objetos e sistemas de ações (SANTOS, 1996). Isso significa que camadas, mapas e indicadores devem ser lidos em relação a processos históricos, desigualdades territoriais, infraestruturas, políticas públicas, usos sociais, vulnerabilidades e disputas. Um mapa de temperatura de superfície, por exemplo, não deve ser interpretado apenas como dado físico, mas como expressão territorial de desigualdades urbanas, ausência de vegetação, impermeabilização do solo, precariedade habitacional e vulnerabilidade climática.

Essa perspectiva será desenvolvida no Capítulo 11, dedicado ao WebSIG social, à geografia crítica, à justiça territorial e às políticas públicas. A ideia central é que o WebSIG contemporâneo deve ir além da visualização de objetos espaciais. Ele deve contribuir para tornar visíveis processos, desigualdades e possibilidades de transformação. Deve permitir que gestores identifiquem prioridades, que professores trabalhem educação territorial, que estudantes compreendam seus bairros, que jornalistas qualifiquem reportagens, que movimentos sociais mobilizem evidências e que cidadãos participem de debates públicos sobre o território.

A Parte IV, portanto, propõe uma virada conceitual: do WebSIG como **plataforma cartográfica** ao WebSIG como **infraestrutura pública de inteligência territorial**. Essa virada exige articular três dimensões. A primeira é técnica: dados confiáveis, processamento robusto, bancos espaciais, APIs, serviços interoperáveis, renderização eficiente e escalabilidade. A segunda é comunicacional: usabilidade, acessibilidade, linguagem simples, visualização clara e experiência centrada no usuário. A terceira é político-institucional: conexão com políticas públicas, governança, manutenção, participação social, transparência e justiça territorial.

Essa articulação é particularmente importante diante da crise climática. Ilhas de calor, enchentes, ausência de vegetação, déficit de parques e praças, impermeabilização do solo, exposição desigual a riscos e vulnerabilidade socioambiental exigem instrumentos capazes de produzir diagnósticos territorializados, comparáveis e comunicáveis. Mas esses instrumentos só cumprem função pública se forem compreensíveis e utilizáveis. Um WebSIG inacessível, opaco ou excessivamente técnico pode até disponibilizar dados, mas continuará reproduzindo desigualdades de interpretação. Um WebSIG social, ao contrário, deve transformar dados em direito à informação territorial.

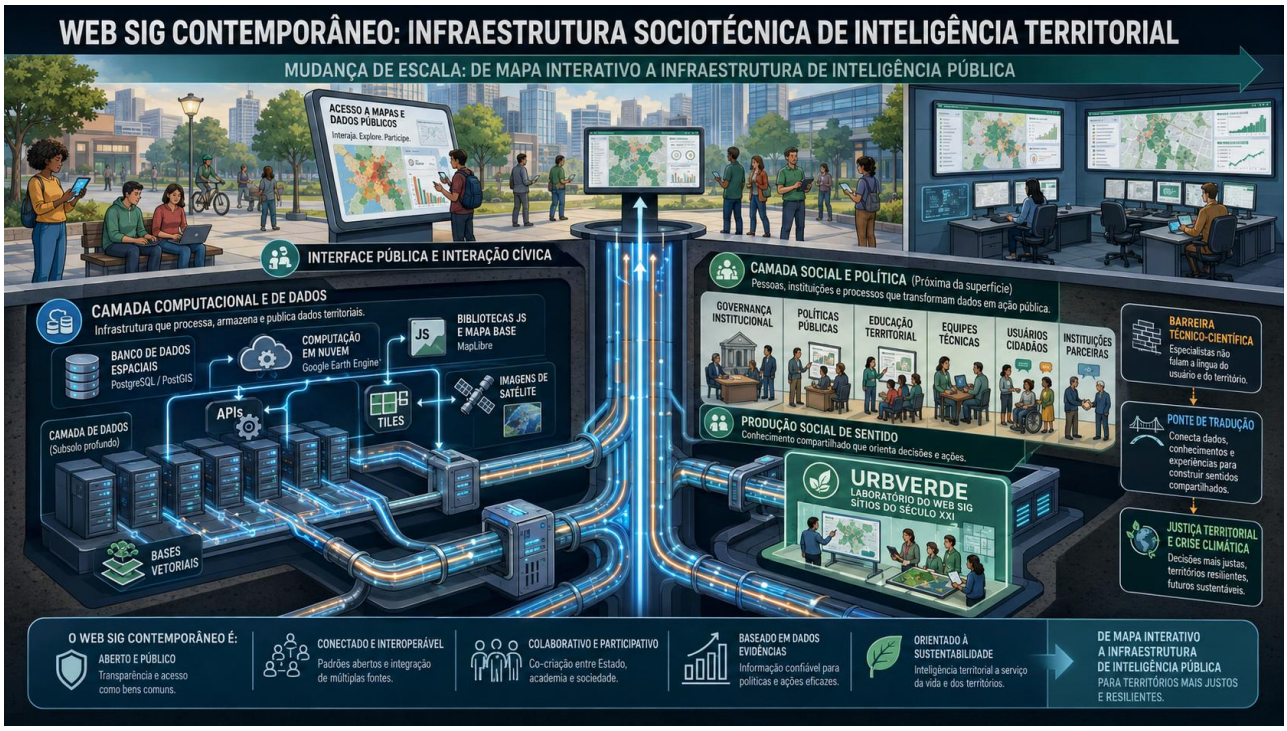
Ao longo desta parte, a UrbVerde aparecerá como referência concreta dessa transição. Sua experiência mostra que a construção de um WebSIG social não depende apenas da qualidade dos dados, mas da integração entre método científico, arquitetura computacional, interface, linguagem, usuários e políticas públicas. A plataforma permite pensar os desafios de escalabilidade, usabilidade, democratização, interpretação e conexão com ações de adaptação climática e redução das desigualdades territoriais (LACERDA, 2025).

A pergunta que orienta a Parte IV pode ser formulada da seguinte maneira: **como construir um WebSIG capaz de ser tecnicamente robusto, epistemologicamente consciente, socialmente**

acessível e politicamente orientado à transformação do território? A resposta não está em uma única tecnologia, biblioteca, linguagem de programação ou modelo de dados. Ela está na construção de uma infraestrutura sociotécnica capaz de articular diferentes camadas de conhecimento e ação.

O WebSIG do século XXI, portanto, não deve ser pensado como produto acabado. Ele é uma construção em permanente desenvolvimento. Sua qualidade depende da capacidade de atualizar dados, incorporar novos indicadores, escutar usuários, revisar metodologias, dialogar com instituições, responder a problemas públicos e manter compromisso com a justiça territorial. A plataforma deixa de ser apenas lugar de visualização e passa a ser espaço de mediação entre ciência, sociedade e política (figura 60).

Figura 60 - Plataforma web como infraestrutura subterrânea: dados, servidores, usuários e políticas



Referências bibliográficas

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

GORELICK, Noel et al. **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone**. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

NIELSEN, Jakob. **10 Usability Heuristics for User Interface Design**. Nielsen Norman Group, 1994.

NORMAN, Donald A. **The Design of Everyday Things**. Revised and expanded edition. New York: Basic Books, 2013.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

WARSCHAUER, Mark. **Technology and Social Inclusion: Rethinking the Digital Divide**. Cambridge: MIT Press, 2003.

Capítulo 8 - Do WebSIG estático ao WebSIG dinâmico

A passagem do WebSIG estático ao WebSIG dinâmico representa uma das transformações mais importantes da geoinformação contemporânea. Não se trata apenas de tornar mapas mais rápidos, bonitos ou acessíveis pela internet. Trata-se de uma mudança na própria forma como os usuários interagem com dados espaciais, formulam perguntas, visualizam fenômenos, cruzam camadas, interpretam indicadores e produzem conhecimento territorial. O WebSIG deixa de ser um repositório de mapas publicados na web e passa a funcionar como ambiente de consulta, análise, mediação e decisão.

Essa transformação acompanha a evolução técnica dos Sistemas de Informação Geográfica e da própria internet. Nas primeiras experiências de WebSIG, o usuário interagia com formulários relativamente simples: escolhia uma área de interesse, selecionava algumas camadas e recebia como resposta uma imagem estática do mapa, geralmente em formatos como GIF ou JPEG. Qualquer operação elementar - aproximar, deslocar, alterar camadas, consultar atributos - exigia nova solicitação ao servidor e nova geração de imagem. Como observa Lacerda, essa primeira geração era lenta, pouco interativa e sem navegação fluida no mapa, pois dependia da construção de mapas-imagem pelo servidor (LACERDA, 2025).

O WebSIG dinâmico altera profundamente essa lógica. O mapa deixa de ser uma imagem pronta enviada ao usuário e passa a ser uma interface viva, capaz de responder a interações, carregar camadas, consultar atributos, filtrar dados, atualizar visualizações, combinar informações, apresentar gráficos e permitir downloads. A passagem do estático ao dinâmico, portanto, não é apenas tecnológica; ela é também epistemológica e política. O usuário deixa de consumir um mapa fechado e passa a explorar um sistema de informações territoriais (figura 61).

Figura 61 - Comparativo WebSIG estático x WebSIG dinâmico



8.1. O WebSIG como nova etapa da geoinformação

O WebSIG surge da convergência entre SIG, internet, bancos de dados espaciais, servidores de mapas, padrões de interoperabilidade, bibliotecas de visualização e interfaces web. Sua origem está ligada à tentativa de disponibilizar dados geográficos por meio de navegadores, superando a dependência exclusiva dos softwares desktop. Essa passagem amplia o alcance social dos SIG, pois permite que usuários acessem informações georreferenciadas sem instalar programas especializados ou manipular diretamente arquivos complexos.

Câmara, Davis e Monteiro já apontavam, no início dos anos 2000, que o acesso a dados geográficos pela internet constituía uma das linhas mais promissoras do geoprocessamento, justamente por abrir novas possibilidades de disseminação de informações espaciais (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Lacerda retoma essa formulação ao afirmar que, desde o início do século XXI, o acesso a dados geográficos via navegador tornou-se uma das áreas de maior interesse da comunidade de geoprocessamento, sendo designado como WebSIG (LACERDA, 2025).

Essa nova etapa modifica a relação entre especialista e usuário. No SIG desktop, a análise espacial depende, em geral, de conhecimento técnico, instalação de software, domínio de formatos, manipulação de dados e compreensão de procedimentos de geoprocessamento. No WebSIG, parte dessa complexidade é transferida para a arquitetura da plataforma: dados, processamento, serviços e visualizações são organizados previamente para permitir que o usuário final acesse informações por meio de uma interface mais simples.

No entanto, essa simplificação não significa perda de complexidade. Ao contrário, por trás da interface do WebSIG há uma cadeia técnica sofisticada: processamento de dados, bancos geográficos, serviços web, renderização de mapas, armazenamento em cache, APIs, controle de camadas, consultas espaciais, autenticação, versionamento, metadados e estratégias de atualização. A aparência simples do WebSIG depende de uma infraestrutura complexa.

Por isso, o WebSIG deve ser entendido como mediação. Ele se situa entre a complexidade técnica da geoinformação e a necessidade social de leitura territorial. Quando bem concebido, permite que usuários não especialistas realizem operações que antes dependiam de técnicos: visualizar camadas, comparar áreas, consultar indicadores, exportar mapas, cruzar informações e produzir diagnósticos. Quando mal concebido, apenas transfere para a web a opacidade dos sistemas tradicionais.

8.2. Primeira geração: mapas-imagem e baixa interatividade

A primeira geração dos WebSIGs era fortemente marcada por uma lógica estática. O servidor concentrava quase todo o processamento. O usuário selecionava parâmetros em um formulário - área geográfica, camadas, escala, elementos visuais - e recebia como resultado uma imagem do mapa. Essa imagem podia ser visualizada, salva ou impressa, mas não era plenamente interativa. Se o usuário quisesse alterar a escala, mover o mapa ou modificar as camadas, era necessário solicitar ao servidor uma nova imagem.

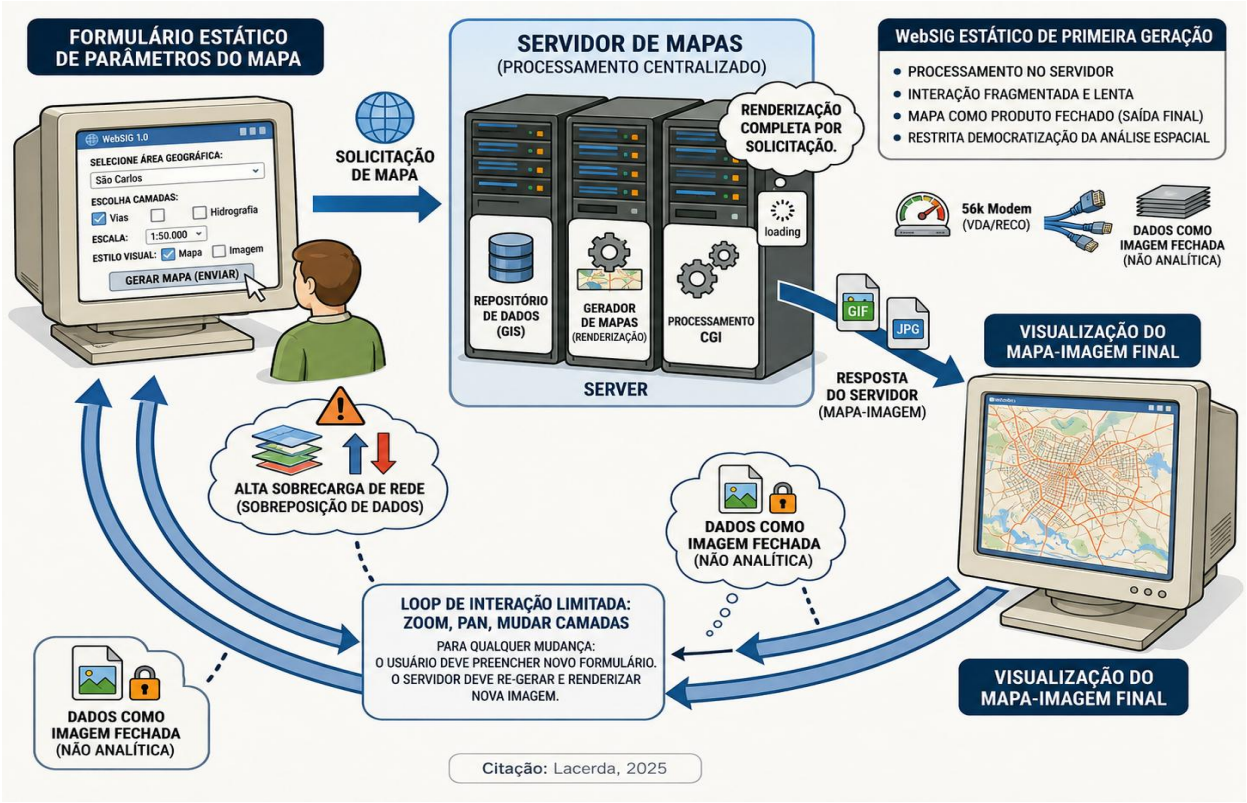
Lacerda descreve esse modelo inicial como um processo no qual o usuário preenchia um formulário estático e recebia uma imagem, como GIF ou JPEG, sem navegação interativa. O autor observa que qualquer operação simples, como zoom ou pan, exigia a formação de um novo mapa-imagem e uma nova transmissão, sobrecarregando a rede (LACERDA, 2025).

Essa limitação revelava a dependência da infraestrutura da época. A velocidade da internet era menor, os navegadores tinham menos capacidade de processamento, os padrões web ainda estavam em consolidação e os servidores precisavam gerar mapas dinamicamente a cada solicitação. O resultado era uma experiência fragmentada e lenta, distante da fluidez que hoje se espera de uma interface cartográfica.

Do ponto de vista epistemológico, o WebSIG estático ainda preservava muito da lógica do mapa como produto. Embora estivesse na internet, o mapa continuava sendo uma saída final relativamente fechada. O usuário podia solicitar uma visualização, mas não explorar profundamente os dados. A interação era limitada. O mapa permanecia mais próximo de uma imagem cartográfica disponibilizada online do que de uma interface analítica.

Essa primeira geração foi importante porque abriu caminho para a publicação de mapas na web. Permitiu que órgãos públicos, instituições de pesquisa e empresas distribuíssem produtos cartográficos a usuários remotos. Mas sua capacidade de democratizar a análise espacial era restrita. A barreira técnico-científica permanecia: o usuário podia ver o mapa, mas dificilmente produzir novas perguntas a partir dele (figura 62).

Figura 62 - Primeira geração: WebSIG estático



8.3. Do servidor que desenha ao cliente que interage

A transformação do WebSIG estático em WebSIG dinâmico dependeu de uma redistribuição das tarefas entre servidor e cliente. Nas primeiras arquiteturas, o servidor era responsável por construir a imagem do mapa a cada solicitação. Com o avanço da web, tornou-se possível transferir parte da interação para o navegador do usuário. Essa mudança permitiu navegação mais fluida, maior responsividade e experiências cartográficas mais próximas da manipulação direta do mapa.

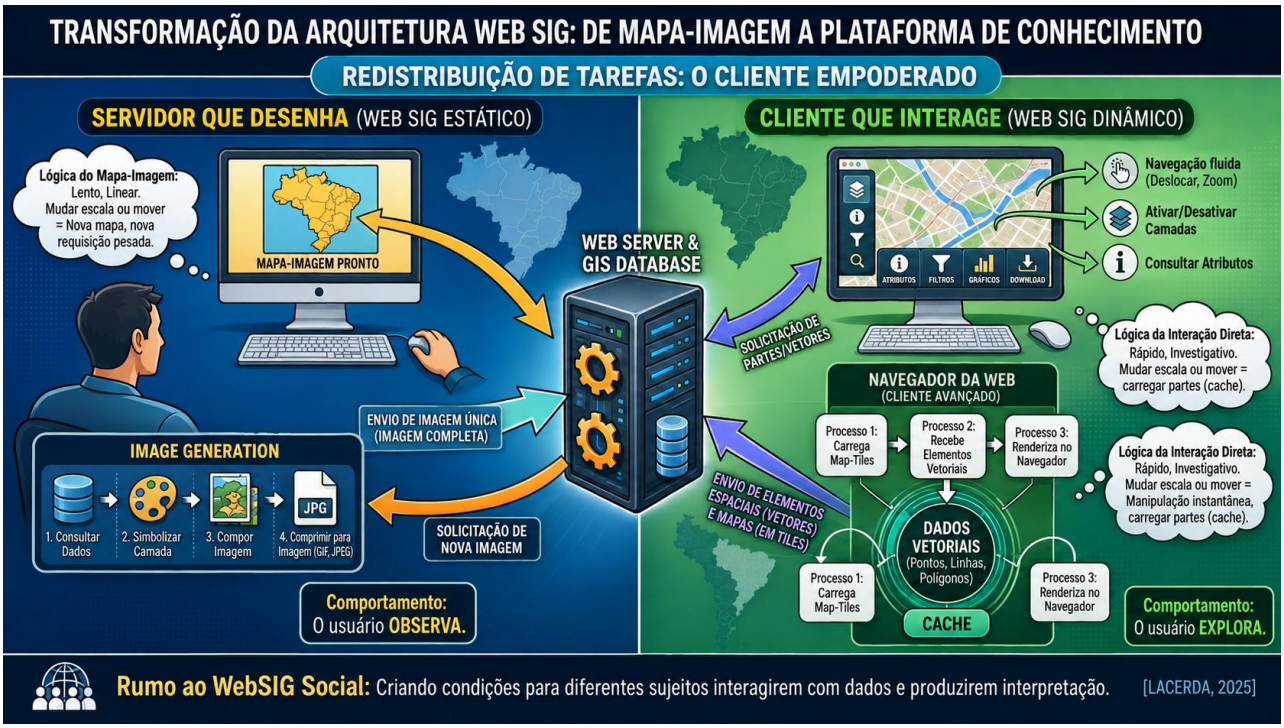
Uma das alternativas descritas por Lacerda foi a transmissão de objetos geográficos em representação vetorial, permitindo que o usuário ativasse ou desativasse camadas e que objetos vetoriais fossem armazenados na memória da máquina cliente, em cache, aumentando a interatividade nas operações de navegação (LACERDA, 2025). Essa passagem altera a lógica do sistema: em vez de receber imagens prontas, o cliente passa a manipular elementos espaciais.

O armazenamento em cache, os mapas em tiles e a renderização no navegador permitiram maior continuidade visual. O usuário passou a deslocar o mapa sem esperar uma nova imagem completa ser gerada; a interface passou a carregar partes do mapa conforme a navegação; e as camadas puderam ser organizadas de modo mais flexível. Essa arquitetura reduziu a dependência de requisições pesadas ao servidor e ampliou a sensação de interação direta.

Essa mudança não é apenas técnica. Ela transforma o comportamento cognitivo do usuário. Em um mapa estático, o usuário observa. Em um mapa dinâmico, o usuário explora. Ele testa escalas, ativa camadas, compara áreas, consulta dados, identifica padrões e formula hipóteses. A experiência cartográfica deixa de ser linear e passa a ser investigativa.

O WebSIG dinâmico aproxima-se, assim, da lógica de uma plataforma de conhecimento. Ele não entrega apenas uma resposta pronta, mas permite que o usuário percorra caminhos analíticos. Essa mudança será fundamental para a construção de WebSIGs sociais, pois democratizar a geoinformação não significa apenas disponibilizar mapas, mas criar condições para que diferentes sujeitos possam interagir com os dados e produzir interpretação (figura 63).

Figura 63 - Servidor que desenha x cliente que interage



8.4. Interatividade: zoom, pan, camadas, consulta e comparação

A interatividade é uma das marcas centrais do WebSIG dinâmico. Operações que antes eram lentas ou dependiam de especialistas passam a ser incorporadas à experiência do usuário: aproximar, afastar, deslocar, ativar e desativar camadas, consultar atributos, alterar variáveis, comparar indicadores, visualizar gráficos, exportar mapas e acessar metadados. Cada uma dessas operações amplia a capacidade de leitura territorial.

O zoom e o pan parecem operações simples, mas possuem grande importância epistemológica. Eles permitem ao usuário transitar entre escalas, aproximar o olhar de uma área específica e retornar a uma visão ampla. Essa passagem entre escalas é essencial para a análise territorial. Um fenômeno pode aparecer de uma maneira na escala estadual, de outra na escala municipal e de outra ainda na escala intraurbana. A interatividade permite perceber essas diferenças.

A ativação e desativação de camadas também modifica a relação com o mapa. O usuário deixa de receber uma única composição cartográfica e passa a construir combinações visuais. Pode comparar vegetação e temperatura, áreas verdes e renda, hidrografia e ocupação do solo, parques e densidade populacional. A sobreposição deixa de ser operação técnica restrita e passa a ser experiência visual acessível.

A consulta de atributos é outro ponto importante. Quando o usuário clica em uma unidade territorial e acessa seus indicadores, o mapa deixa de ser apenas imagem e se torna interface de banco de dados. Essa é uma das mudanças fundamentais da passagem da cartografia digital ao WebSIG. O usuário

visualiza a forma, mas também acessa informação alfanumérica, valores, indicadores, classificações e descrições.

A comparação completa esse movimento. Um WebSIG dinâmico precisa permitir que o usuário não apenas veja um dado isolado, mas compare territórios, identifique diferenças, reconheça desigualdades e formule perguntas. A inteligência territorial nasce da relação: entre áreas, entre indicadores, entre escalas e entre processos (figura 64).

Figura 64 - Interface com zoom, pan, camadas, consulta, comparação



8.5. Raster, vetor, bancos espaciais e camadas dinâmicas

A arquitetura de um WebSIG dinâmico depende da articulação entre diferentes modelos de dados. O raster permite representar fenômenos contínuos, como temperatura de superfície, índices de vegetação, altitude, umidade, declividade ou imagens de satélite. O vetor permite representar objetos discretos, como municípios, bairros, setores censitários, praças, parques, rios, vias, escolas, equipamentos públicos e áreas delimitadas. A força do WebSIG está em articular esses modelos em uma interface comum.

Lacerda destaca que o Google Earth Engine facilita a geração de grandes volumes de informações espaciais, classificáveis em dois modelos fundamentais: raster, representado por matrizes de pixels ou células e associado a sensoriamento remoto e fenômenos contínuos; e vetorial, representado por pontos, linhas e polígonos, adequado para dados cadastrais e redes (LACERDA, 2025).

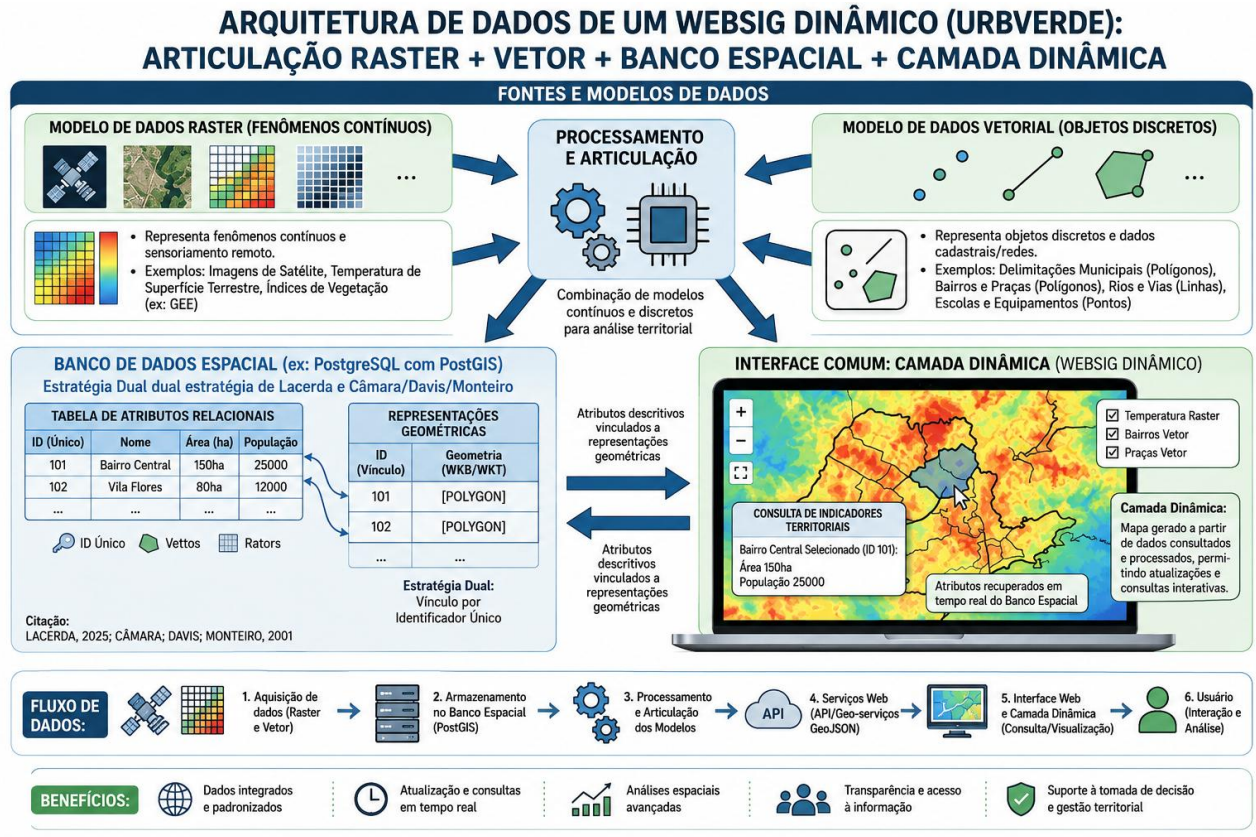
No caso da UrbVerde, essa distinção é concreta. A Temperatura de Superfície Terrestre pode ser trabalhada como camada raster, enquanto vegetação, parques e praças, delimitações municipais e setores censitários podem ser organizados como dados vetoriais. Essa combinação permite articular fenômenos ambientais contínuos e unidades territoriais discretas. O WebSIG torna possível visualizar

superfícies e, ao mesmo tempo, consultar indicadores agregados por áreas administrativas ou estatísticas.

Os bancos de dados espaciais são essenciais nessa arquitetura. Eles permitem armazenar geometrias, atributos, identificadores, índices, relações e metadados. A chamada estratégia dual, discutida por Câmara, Davis e Monteiro, consiste em armazenar atributos em tabelas relacionais e vinculá-los às representações geométricas por identificadores (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Lacerda retoma essa lógica ao explicar que, na UrbVerde, atributos descritivos e dados espaciais são adicionados a um banco relacional, com identificadores únicos que estabelecem a ligação entre tabelas e geometrias (LACERDA, 2025).

Essa estrutura permite que as camadas sejam dinâmicas. O mapa não é um arquivo fechado, mas uma visualização gerada a partir de dados armazenados, processados e consultados. Quando a base é atualizada, a plataforma pode apresentar novos valores. Quando uma camada é ativada, o sistema busca os dados correspondentes. Quando o usuário clica em um território, os atributos são recuperados. O dinamismo do WebSIG depende dessa relação entre mapa, banco e interface (figura 65).

Figura 65 - Arquitetura de dados



8.6. Renderização vetorial no navegador e novas bibliotecas cartográficas

A renderização vetorial no navegador representa uma etapa importante na evolução dos WebSIGs. Em vez de depender exclusivamente de imagens geradas no servidor, bibliotecas modernas permitem desenhar, estilizar e manipular objetos vetoriais diretamente no cliente. Essa arquitetura melhora a fluidez da navegação, permite maior flexibilidade visual e facilita a interação do usuário com os dados.

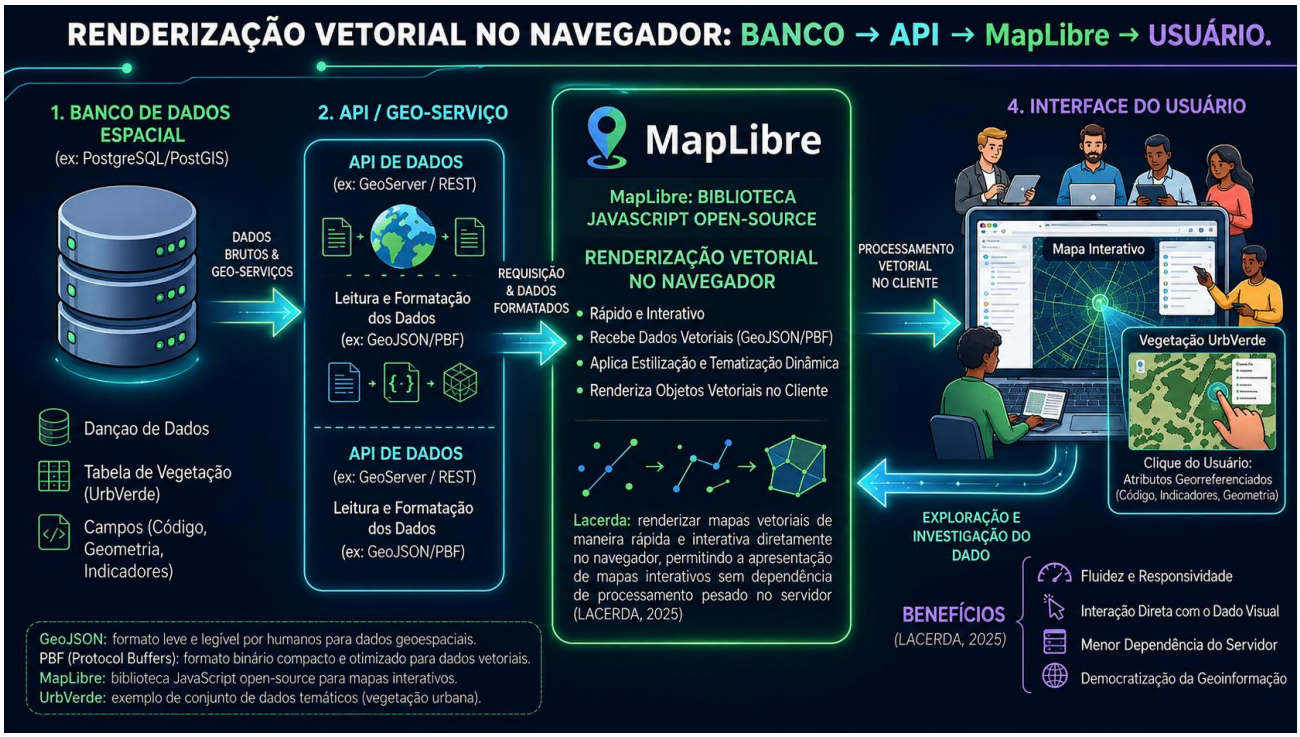
Lacerda destaca o MapLibre como exemplo desse contexto de busca por alta interatividade no navegador. Segundo o autor, trata-se de uma biblioteca JavaScript de código aberto utilizada para renderizar mapas vetoriais de maneira rápida e interativa diretamente no navegador, permitindo a apresentação de mapas interativos sem dependência de processamento pesado no servidor (LACERDA, 2025).

Essa mudança é fundamental para plataformas como a UrbVerde. Quando uma tabela vetorial é lida e adicionada sobre uma base cartográfica ou imagem de satélite, o usuário passa a interagir diretamente com o dado visual. Lacerda mostra, no caso da camada vetorial de vegetação da UrbVerde, que campos como código municipal, geometria e indicadores são estruturados em banco de dados, lidos pelo MapLibre e exibidos georreferenciados, permitindo interação direta com o dado visual (LACERDA, 2025).

Essa arquitetura aproxima o WebSIG da experiência de exploração. O usuário pode clicar em áreas, visualizar atributos, alternar camadas e perceber alterações sem abandonar a interface. O mapa torna-se responsivo às ações do usuário. A plataforma deixa de ser uma vitrine cartográfica e se transforma em ambiente de investigação.

Do ponto de vista político, a renderização eficiente também importa. Um WebSIG lento, pesado ou difícil de navegar tende a afastar usuários não especialistas. A fluidez não é apenas questão estética; ela influencia a capacidade de apropriação social. Se a plataforma demora, trava ou exige conhecimento técnico excessivo, a democratização da geoinformação fica comprometida. A performance técnica é parte da experiência pública do dado (figura 66).

Figura 66 - Renderização vetorial no navegador: MapLibre



8.7. Computação em nuvem, atualização e escalabilidade

O WebSIG dinâmico depende não apenas da interface, mas também da capacidade de produzir e atualizar dados em larga escala. A computação em nuvem tornou-se central nesse processo. Ela permite processar grandes volumes de imagens e informações geográficas, gerar indicadores, operar séries temporais e alimentar plataformas web com dados atualizados e comparáveis.

Lacerda observa que a metodologia de desenvolvimento de dados georreferenciados da UrbVerde se baseia fortemente em computação em nuvem, tecnologia que transforma a análise SIG ao permitir o processamento e a geração de dados em larga escala, inclusive estadual ou nacional. O autor identifica o Google Earth Engine como uma das ferramentas mais importantes para esse processamento em larga escala no contexto da UrbVerde (LACERDA, 2025).

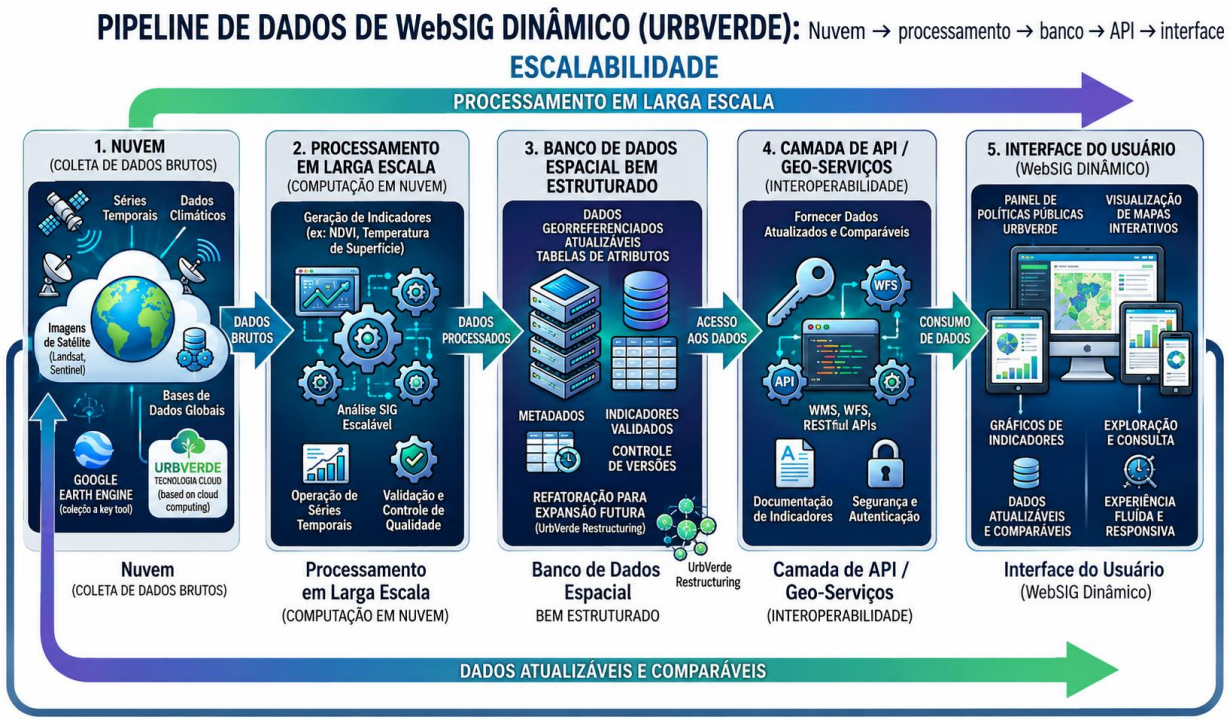
Essa dimensão é essencial para a passagem do WebSIG estático ao dinâmico. Um mapa estático pode ser produzido uma vez e publicado. Um WebSIG dinâmico precisa de dados atualizáveis, pipelines de processamento, controle de versões, rotinas de validação, bancos bem estruturados e capacidade de expansão. O dinamismo não está apenas na interface, mas em toda a cadeia de produção da informação.

A escalabilidade torna-se, portanto, um princípio estrutural. Uma plataforma que começa com algumas camadas precisa ser capaz de incorporar novas bases, novos indicadores, novos recortes territoriais, novas escalas e novos usuários. No caso da UrbVerde, a necessidade de implementar o painel de políticas públicas e garantir expansão futura levou à reestruturação e refatoração total da plataforma,

justamente porque a versão inicial apresentava desafios estruturais e funcionais no design e no código (LACERDA, 2025).

Isso mostra que o WebSIG dinâmico não pode ser improvisado. Ele exige arquitetura. A capacidade de crescer sem perder clareza, desempenho e confiabilidade depende de decisões estruturais: como organizar os dados, como nomear camadas, como documentar indicadores, como modularizar componentes, como garantir interoperabilidade e como manter a plataforma ao longo do tempo (figura 67).

Figura 67 - Pipeline: Nuvem → processamento → banco → API → interface



8.8. Do dinamismo técnico ao dinamismo interpretativo

A passagem do WebSIG estático ao dinâmico não deve ser entendida apenas como aumento de interatividade técnica. Um sistema pode ser dinâmico do ponto de vista visual e ainda assim permanecer pobre do ponto de vista interpretativo. Pode permitir zoom, pan e ativação de camadas, mas não ajudar o usuário a compreender relações, formular perguntas ou produzir diagnóstico territorial.

O verdadeiro dinamismo do WebSIG do século XXI precisa ser também interpretativo. Isso significa que a plataforma deve orientar o usuário na leitura dos dados, explicar indicadores, apresentar relações, permitir comparações, oferecer gráficos, contextualizar resultados e conectar informação espacial a problemas públicos. O dinamismo não está apenas em mover o mapa, mas em ampliar a capacidade de compreensão.

Assim, a web cartográfica comercial acostumou os usuários a interagir com mapas, mas nem sempre os conduziu à análise crítica. O WebSIG social precisa ir além da navegação. Precisa transformar a interação em interpretação. Para isso, deve articular cartografia, visualização de dados, linguagem simples, acessibilidade, usabilidade e fundamentação metodológica.

O TCC de Lacerda mostra que a reestruturação da UrbVerde aplicou princípios de Interação Humano-Computador, Design Thinking, Double Diamond, heurísticas de usabilidade, princípios da Gestalt, linguagem simples e humanismo de dados, com o objetivo de melhorar a usabilidade, a clareza e o engajamento dos usuários (LACERDA, 2025). Essa abordagem indica que o dinamismo do WebSIG deve ser pensado a partir do usuário, e não apenas da infraestrutura técnica.

Um WebSIG dinâmico, portanto, deve responder a perguntas como: o usuário entende o que está vendo? Consegue comparar territórios? Sabe o significado dos indicadores? Percebe as limitações metodológicas? Consegue relacionar mapa e gráfico? Consegue exportar resultados? Consegue usar a informação para apoiar uma decisão? Essas perguntas deslocam o debate da tecnologia para a experiência pública da geoinformação.

8.9. WebSIG dinâmico e políticas públicas

O WebSIG dinâmico possui grande potencial para políticas públicas. Sua capacidade de atualizar dados, cruzar camadas, apresentar indicadores, permitir comparações e ampliar o acesso público torna-o instrumento relevante para diagnóstico, planejamento, monitoramento e avaliação. Em vez de produzir relatórios estáticos, uma plataforma pode permitir acompanhamento contínuo de fenômenos territoriais.

No planejamento urbano e ambiental, isso é especialmente importante. Mudanças climáticas, ilhas de calor, enchentes, cobertura vegetal, impermeabilização, acesso a parques e praças, vulnerabilidade social e qualidade ambiental são fenômenos que exigem monitoramento espacial e temporal. Um WebSIG dinâmico pode ajudar gestores públicos a identificar áreas prioritárias, acompanhar metas, comunicar diagnósticos e prestar contas à sociedade.

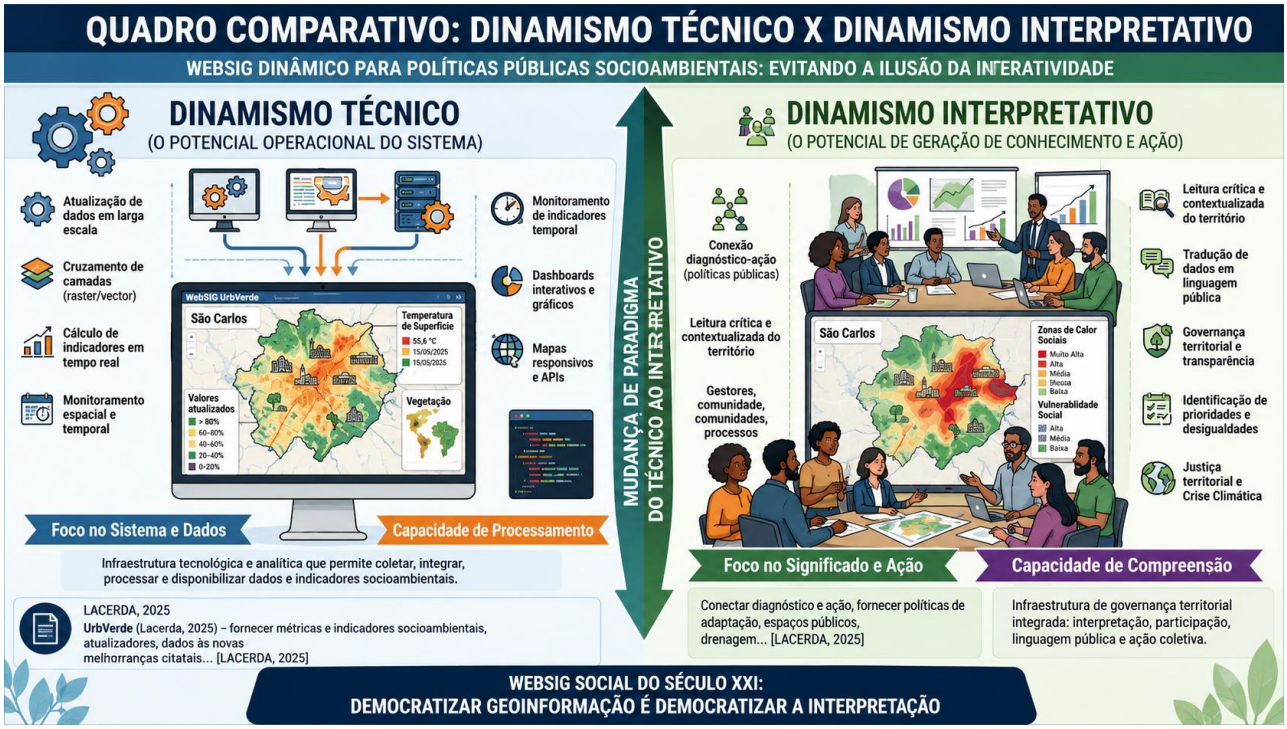
A UrbVerde expressa esse potencial. A plataforma foi concebida para fornecer métricas e indicadores socioambientais, apoiar estudos acadêmicos, escolas, planos diretores e políticas públicas municipais, por meio de análises espaço-temporais sobre eventos climáticos, vegetação, temperatura de superfície, espaços públicos e áreas verdes urbanas (LACERDA, 2025).

O dinamismo do WebSIG, nesse caso, não é apenas operacional. Ele está relacionado à possibilidade de conectar diagnóstico e ação. Uma camada de temperatura pode orientar políticas de arborização; um indicador de acesso a praças pode orientar investimentos em espaços públicos; uma análise de impermeabilização pode subsidiar políticas de drenagem; um painel de políticas públicas pode acompanhar metas e ações de adaptação climática.

Mas essa conexão depende de desenho institucional. A plataforma precisa dialogar com gestores, técnicos, professores, estudantes, jornalistas e sociedade civil. Precisa traduzir dados em linguagem

pública. Precisa apresentar informações de modo confiável e acionável. O WebSIG dinâmico é, assim, também uma infraestrutura de governança territorial (quadro 4).

Quadro 4 - Dinamismo técnico x dinamismo interpretativo



8.10. O risco do dinamismo superficial

Apesar de suas potencialidades, o WebSIG dinâmico também apresenta riscos. O primeiro é o dinamismo superficial: interfaces muito interativas, visualmente atraentes, mas pobres em interpretação. Um mapa pode ser rápido, colorido e fluido, mas ainda assim não explicar nada. O excesso de interação pode produzir sensação de conhecimento sem aprofundamento analítico.

O segundo risco é a opacidade técnica. Quanto mais sofisticada a arquitetura do WebSIG, maior pode ser a distância entre o usuário e os métodos que produziram os dados. Camadas, indicadores e classificações podem aparecer como resultados naturais, quando na verdade dependem de escolhas metodológicas, fontes, resoluções, algoritmos e critérios de processamento. Câmara, Monteiro e Medeiros alertam para o risco da reificação geográfica, quando usuários tomam estruturas computacionais pela realidade e não percebem suas limitações (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

O terceiro risco é a desigualdade de uso. Um WebSIG pode estar disponível na internet, mas continuar inacessível para muitos usuários por problemas de linguagem, conectividade, letramento digital, acessibilidade, excesso de jargão ou falta de mediação pedagógica. Disponibilizar não é o mesmo que democratizar. Uma plataforma pública precisa ser pensada para diferentes perfis de usuário.

O quarto risco é a dependência tecnológica. WebSIGs dinâmicos dependem de bibliotecas, servidores, serviços de mapas, bancos de dados, APIs, nuvem, atualizações e equipes técnicas. Se não houver governança, documentação e manutenção, a plataforma pode se tornar instável ou obsoleta. O dinamismo exige infraestrutura permanente.

Esses riscos não invalidam o WebSIG dinâmico. Ao contrário, mostram que sua construção exige critérios técnicos, epistemológicos e políticos. O desafio é combinar interatividade com rigor, velocidade com transparência, usabilidade com profundidade conceitual, abertura com governança e dados com interpretação.

8.11. Da plataforma cartográfica à infraestrutura sociotécnica

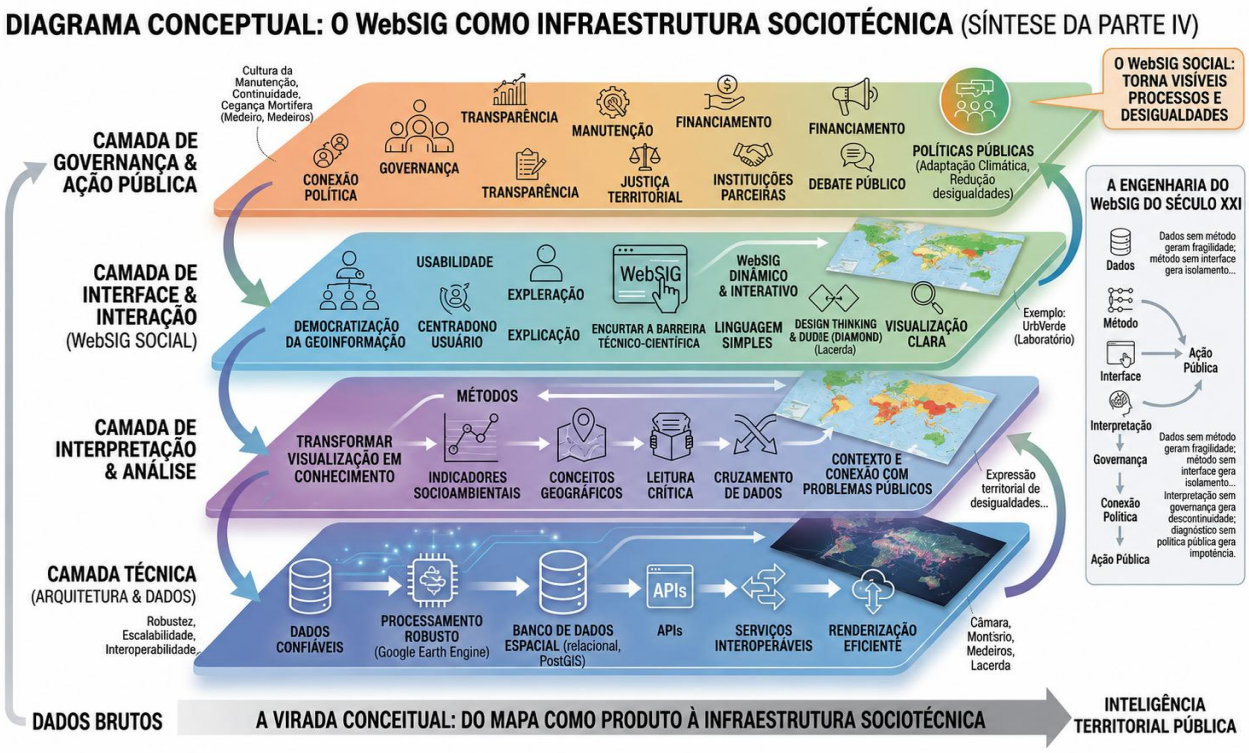
A evolução do WebSIG estático ao dinâmico prepara a passagem para uma concepção mais ampla: o WebSIG como infraestrutura sociotécnica. Nesse modelo, a plataforma não é apenas um mapa interativo. Ela é um arranjo que articula dados, métodos, códigos, servidores, bancos, interfaces, usuários, instituições, políticas públicas e formas de interpretação.

Essa concepção dialoga com a própria crítica de Câmara, Monteiro e Medeiros à limitação cartográfica dos SIG. Para os autores, a Ciência da Geoinformação precisa avançar para representações capazes de lidar com diferentes concepções de espaço e com processos dinâmicos e sociais (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). O WebSIG dinâmico pode ser um passo nessa direção, desde que não se limite à interatividade visual.

Uma infraestrutura sociotécnica de WebSIG deve integrar pelo menos cinco dimensões. A primeira é a dimensão dos dados: fontes confiáveis, metadados, atualização, qualidade e interoperabilidade. A segunda é a dimensão computacional: processamento, bancos espaciais, serviços, APIs, renderização e escalabilidade. A terceira é a dimensão da interface: usabilidade, acessibilidade, linguagem, visualização e experiência do usuário. A quarta é a dimensão institucional: equipes, governança, financiamento, documentação e manutenção. A quinta é a dimensão política: conexão com problemas públicos, indicadores, planos, metas, participação e controle social.

Essa abordagem permite superar a visão do WebSIG como "site de mapas". Um WebSIG do século XXI deve ser ambiente de inteligência territorial. Seu objetivo não é apenas representar o espaço, mas apoiar sua leitura crítica e sua transformação. Ele precisa permitir que diferentes usuários compreendam relações territoriais e formulem ações (figura 68).

Figura 68 - Diagrama WebSIG como infraestrutura sociotécnica Síntese da Parte IV



8.12. Considerações finais

A passagem do WebSIG estático ao WebSIG dinâmico ampliou a capacidade de navegação, consulta, comparação e análise. O mapa deixou de ser uma imagem gerada pelo servidor e enviada ao usuário para se tornar uma interface interativa, alimentada por bancos de dados, serviços web, vetores, rasters, APIs, renderização no navegador e processamento em nuvem.

No entanto, o dinamismo técnico só se completa quando se torna dinamismo interpretativo. Um WebSIG contemporâneo precisa permitir que o usuário compreenda dados, relacione indicadores, compare territórios, reconheça desigualdades e utilize a informação espacial para apoiar decisões públicas. A experiência da UrbVerde mostra que essa transição exige arquitetura técnica, mas também usabilidade, linguagem clara, escuta dos usuários e compromisso público.

Referências bibliográficas

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

DE BY, Rolf A. (ed.). **Principles of Geographic Information Systems: an introductory textbook**. 2. ed. Enschede: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 2001.

GASPAR, Joaquim Alves. **Cartas e projeções cartográficas**. Lisboa: Lidel, 2014.

GORELICK, Noel et al. **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone**. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida et al. **UrbVerde: fundamentos humano-computacionais aplicados à democratização de dados socioambientais**. São Carlos: UrbVerde/IAU-USP, 2025.

MAPLIBRE. **MapLibre GL JS Documentation**. MapLibre, 2025.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. **OGC Web Map Service Interface Standard**. Wayland: OGC, 2006.

OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. **OGC Web Feature Service 2.0 Interface Standard**. Wayland: OGC, 2010.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

Capítulo 9 - A barreira técnico-científica e a pirâmide especialista-usuário

A popularização dos mapas digitais e a evolução dos WebSIGs não eliminaram uma barreira central da geoinformação: a distância entre a capacidade técnica dos sistemas e a capacidade social de apropriação dos dados. A existência de uma plataforma pública, de camadas geográficas disponíveis ou de mapas interativos na internet não garante, por si só, a democratização do conhecimento territorial. O usuário pode acessar o mapa, mas não compreender seus indicadores; pode visualizar camadas, mas não saber como cruzá-las; pode reconhecer seu bairro, mas não interpretar a relação entre vegetação, temperatura de superfície, renda, impermeabilização do solo e vulnerabilidade climática. A barreira técnico-científica dos SIG nasce justamente nesse intervalo entre acesso, compreensão e uso significativo da informação espacial.

Essa barreira é histórica. Desde sua origem, os Sistemas de Informação Geográfica foram construídos como ferramentas poderosas, mas complexas, dependentes de conhecimentos específicos em cartografia, bancos de dados, sensoriamento remoto, estatística espacial, projeções cartográficas, modelagem, análise espacial e programação. Câmara, Davis e Monteiro definem os SIG como sistemas capazes de tratar computacionalmente dados geográficos, recuperando informações por atributos e por localização espacial, desde que esses dados estejam georreferenciados e organizados em uma projeção cartográfica adequada (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Essa definição mostra a potência dos SIG, mas também evidencia sua exigência técnica.

O problema contemporâneo é que o WebSIG do século XXI pretende dialogar com públicos muito mais amplos do que os usuários tradicionais do geoprocessamento. Gestores públicos, professores, estudantes, jornalistas, movimentos sociais, organizações não governamentais, técnicos municipais e cidadãos comuns precisam acessar e interpretar informações territoriais. No entanto, muitos desses usuários não dominam conceitos como raster, vetor, NDVI, temperatura de superfície, sistema de coordenadas, escala, camada, atributo, interpolação, resolução espacial, índice ou sobreposição. O desafio, portanto, é transformar sistemas tecnicamente sofisticados em plataformas socialmente inteligíveis.

O trabalho de Vitor Lacerda coloca essa questão no centro da reestruturação da UrbVerde. O autor afirma que a aplicação de princípios da Interação Humano-Computador em SIG pode contribuir para a democratização da análise dos dados geoespaciais e para a superação da barreira técnica e científica que historicamente restringe seu uso a especialistas. A UrbVerde é tomada como caso prático justamente por fornecer dados socioambientais georreferenciados para todos os municípios paulistas e buscar apoiar políticas públicas de adaptação climática e redução das desigualdades territoriais (figura 69).

Figura 69 - Pirâmide especialista–usuário



9.1. Do acesso à apropriação

A primeira distinção necessária é entre acesso e apropriação. Acesso significa que os dados, mapas ou plataformas estão disponíveis. Apropriação significa que os usuários conseguem compreender, interpretar, comparar, mobilizar e transformar essas informações em conhecimento útil para seus objetivos. Um portal pode estar aberto, mas continuar inacessível do ponto de vista cognitivo. Um mapa pode estar online, mas continuar indecifrável para quem não domina a linguagem técnica da geoinformação.

Essa diferença é semelhante àquela discutida por Warschauer no campo da inclusão digital. Para o autor, a inclusão não depende apenas da presença física de computadores ou conexão, mas das condições sociais, culturais, educacionais e institucionais que permitem o uso significativo da tecnologia (WARSCHAUER, 2003). No caso dos SIG, a mesma lógica se aplica: democratizar a geoinformação não é apenas publicar camadas, mas criar condições para que diferentes sujeitos compreendam e utilizem os dados espaciais.

No campo da geoinformação, o acesso pode ser ampliado por dados abertos, softwares livres, WebSIGs e APIs. A apropriação, porém, depende de mediações adicionais: linguagem clara, interface compreensível, conceitos explicados, indicadores contextualizados, visualização adequada, documentação metodológica, exemplos de uso, possibilidade de comparação e vínculo com problemas concretos. Sem essas mediações, o usuário permanece diante de um sistema tecnicamente aberto, mas socialmente fechado.

A apropriação exige também confiança. O usuário precisa saber de onde vêm os dados, como foram calculados, que período representam, quais são suas limitações e como podem ser interpretados. Um indicador sem explicação pode gerar confusão ou uso equivocado. Uma camada sem legenda clara pode produzir leitura errada. Um mapa sem contexto pode reforçar interpretações superficiais. A democratização exige transparência e pedagogia.

Por isso, o WebSIG do século XXI deve ser pensado como uma infraestrutura de mediação entre dados e decisão. Sua função não é apenas disponibilizar informações, mas ajudar o usuário a percorrer o caminho entre observação, interpretação e ação. Esse é o ponto em que a Interação Humano-Computador deixa de ser uma dimensão estética e passa a ser uma dimensão epistemológica e política.

9.2. A pirâmide especialista-usuário

A história dos SIG pode ser representada por uma pirâmide. No topo, há um grupo pequeno de especialistas capazes de produzir, processar, cruzar e interpretar dados espaciais complexos. Na base, há um conjunto muito maior de usuários potenciais: gestores, professores, estudantes, jornalistas, movimentos sociais, técnicos de outras áreas e cidadãos interessados em compreender o território. Entre o topo e a base existe uma distância técnica, linguística, cognitiva e institucional.

Essa pirâmide foi historicamente reforçada pela complexidade dos softwares desktop, pela dificuldade de acesso a bases geográficas, pela necessidade de domínio de formatos e projeções, e pela concentração de competências em laboratórios e órgãos especializados. A internet e os WebSIGs reduziram parte dessa distância, mas não a eliminaram. Como observa Lacerda, os primeiros WebSIGs já ampliavam o acesso a dados geográficos via navegador, mas ainda eram lentos, pouco interativos e baseados na geração de imagens estáticas pelo servidor.

A popularização do Google Maps e do Google Earth alterou a base da pirâmide, pois milhões de pessoas passaram a interagir com mapas digitais e imagens de satélite. Contudo, essa familiaridade não significa domínio analítico. Lacerda observa que plataformas como o Google Maps revolucionaram a interação cotidiana com o espaço geográfico, mas ainda restringem a capacidade dos usuários de sobrepor camadas analíticas e produzir análises socioambientais complexas.

A pirâmide, portanto, não desaparece; ela se reorganiza. A base se torna mais familiarizada com mapas, mas o topo continua concentrando a capacidade de produzir diagnósticos complexos. O desafio do WebSIG social é encurtar essa distância. Isso não significa transformar todos os usuários em especialistas em geoprocessamento, mas criar interfaces, metodologias e linguagens que permitam a apropriação de informações territoriais relevantes.

A democratização da geoinformação não exige eliminar o especialista. O especialista continua fundamental para produzir dados, validar métodos, documentar indicadores, avaliar incertezas e garantir rigor científico. O que precisa ser superado é o monopólio interpretativo. Um WebSIG público deve permitir que o conhecimento produzido por especialistas seja traduzido em linguagem acessível, sem perder consistência metodológica (figura 70).

Figura 70 - Pirâmide transformada em ponte: interface/IHC encurtando distância



9.3. As camadas da barreira técnico-científica

A barreira técnico-científica dos SIG não é única. Ela é composta por diferentes camadas. A primeira é a barreira técnica: formatos de arquivo, sistemas de coordenadas, projeções, bancos de dados, servidores, APIs, metadados, ferramentas de processamento e softwares especializados. Para muitos usuários, esses elementos são invisíveis, mas determinam a possibilidade de acessar e manipular dados.

A segunda é a barreira cartográfica. Muitos usuários não compreendem plenamente escala, legenda, generalização, simbologia, classificação, resolução espacial ou diferenças entre mapas temáticos e imagens de satélite. Um mapa pode parecer intuitivo, mas sua leitura exige alfabetização cartográfica. Monmonier lembra que mapas são sempre construções seletivas, e Harley mostra que a cartografia não deve ser tratada como linguagem neutra, pois envolve escolhas, silenciamentos e relações de poder (HARLEY, 1989; MONMONIER, 1996).

A terceira é a barreira estatística e analítica. Indicadores, médias, percentuais, índices compostos, séries temporais, correlações, interpolação, classificação e modelos exigem capacidade de interpretação. Um usuário pode ver que um bairro tem alta temperatura de superfície, mas não compreender se isso representa média, máxima, estimativa orbital, dado de um período específico ou indicador comparável a outras áreas.

A quarta é a barreira semântica. Termos como NDVI, TST, PCV, ICV, PSI, cobertura vegetal, impermeabilização, índice de desigualdade socioambiental, setor censitário, área de influência e buffer podem ser claros para especialistas, mas opacos para gestores, estudantes ou cidadãos. A linguagem técnica pode funcionar como mecanismo de exclusão, mesmo quando a plataforma é pública.

A quinta é a barreira institucional. Municípios pequenos e médios podem não ter equipes capacitadas para lidar com bases geográficas, painéis, indicadores e relatórios técnicos. Mesmo quando há dados disponíveis, faltam tempo, pessoal, formação e rotinas administrativas para incorporá-los às políticas públicas. A democratização do WebSIG depende também de governança, capacitação e integração institucional.

A sexta é a barreira política. Dados territoriais revelam desigualdades, prioridades e conflitos. Uma plataforma pode mostrar ausência de áreas verdes, exposição ao calor, precariedade de infraestrutura ou desigualdade no acesso a praças. Mas transformar esse diagnóstico em ação depende de decisão política, orçamento, negociação, planejamento e participação social. O SIG informa, mas não substitui a política (quadro 5).

Quadro 5 - Camadas da barreira técnico-científica

Camada da Barreira	Definição (O que dificulta?)	Exemplos de Opacidade e Desafios	Tradução Responsável (Solução no WebSIG Social)
1. Técnica	Necessidade de domínio da infraestrutura computacional e das ferramentas de manipulação espacial.	Formatos de arquivos (GeoJSON, Shapefile), sistemas de coordenadas, projeções cartográficas e requisições de APIs.	Plataforma baseada na web com renderização vetorial direta no navegador (MapLibre), eliminando a dependência de softwares complexos de SIG Desktop.
2. Cartográfica	Dificuldade na leitura e interpretação da linguagem visual do mapa, que nunca é neutra.	Compreensão de escalas, decodificação de legendas complexas, generalização cartográfica e simbologias abstratas.	Interfaces interativas com design centrado no usuário, legendas intuitivas e visualizações que priorizam a clareza, a precisão e a eficiência.
3. Estatística / Analítica	Desafio em compreender o processamento matemático e estatístico que sintetiza os dados do território.	Desconhecer se um dado de calor representa uma média histórica, uma máxima absoluta ou uma estimativa orbital num dia específico.	Integração de gráficos dinâmicos de suporte, contextualização temporal dos indicadores e notas metodológicas estruturadas em multinível.
4. Semântica	O jargão técnico e o vocabulário científico especializado que funcionam como barreira linguística.	Siglas e termos abstratos como NDVI, TST, PCV, ICV, setores censitários ou áreas de influência (*buffer*).	Aplicação de princípios de linguagem simples (*plain language*), glossários integrados e substituição de siglas por termos claros (ex: "Índice de Vegetação").
5. Institucional	Fragilidade administrativa e escassez de recursos técnicos ou humanos nas esferas de planejamento local.	Falta de equipes capacitadas nos municípios e ausência de rotinas administrativas para incorporar a geoinformação nas decisões.	Ferramentas de diagnóstico rápido, relatórios automatizados e painéis voltados para a formulação de planos diretores e políticas públicas.
6. Política	O limite onde a informação espacial se depara com conflitos de interesse, prioridades orçamentárias e forças de poder.	O mapa expõe com clareza as desigualdades reais do território, mas a intervenção urbana depende estritamente de decisão e orçamento.	Democratização do acesso para que os dados sirvam como instrumento de auditoria social, fortalecendo a cidadania ativa e a busca pela justiça territorial.

Este quadro demonstra que a democratização da geoinformação não se resolve apenas "publicando os dados na internet". Cada camada de opacidade técnica exige um esforço ativo de design de interface e mediação comunicacional. O WebSIG do século XXI (como o laboratório UrbVerde) atua precisamente nos vetores da coluna da direita, transformando dados brutos e jargões abstratos em inteligência territorial pública acessível a qualquer cidadão ou gestor.

9.4. Linguagem, indicadores e opacidade

A linguagem é um dos principais pontos de contato entre o usuário e a plataforma. Um indicador pode ser metodologicamente robusto, mas socialmente inútil se não for compreendido. A clareza da linguagem não significa simplificação vulgar. Significa tradução responsável. O desafio é explicar conceitos complexos sem eliminar sua densidade.

Na UrbVerde, esse problema é particularmente importante porque muitos indicadores socioambientais são derivados de sensoriamento remoto, processamento em nuvem e análises espaciais. Temperatura de Superfície Terrestre, Percentual de Cobertura Vegetal, Índice de Cobertura Vegetal, Percentual de Impermeabilização do Solo e outros indicadores precisam ser compreendidos por usuários com diferentes níveis de formação. Lacerda mostra que a plataforma UrbVerde fornece métricas e indicadores socioambientais para apoiar estudos acadêmicos, escolas, planos diretores e políticas públicas municipais.

A opacidade surge quando o usuário vê o resultado, mas não compreende sua produção. Ele pode observar uma cor mais escura no mapa, mas não saber o que ela significa; pode comparar municípios, mas não entender os critérios; pode baixar uma imagem, mas não saber como usá-la em um diagnóstico. A interface precisa reduzir essa opacidade por meio de legendas claras, textos explicativos, glossários, notas metodológicas, exemplos de interpretação e indicação de limites.

A visualização de dados também é muito importante. Tufte defende que boas visualizações devem favorecer clareza, precisão e eficiência na comunicação de informações quantitativas (TUFTE, 2001). Cairo argumenta que visualizações não devem apenas embelezar dados, mas ajudar os usuários a compreendê-los de modo crítico (CAIRO, 2016). No WebSIG, isso significa que mapas, gráficos, painéis e tabelas devem funcionar juntos para orientar a interpretação.

O humanismo de dados, mobilizado por Lacerda na reestruturação da UrbVerde, reforça essa perspectiva. Dados não devem ser apresentados como abstrações descoladas da vida social, mas como informações que dizem respeito a pessoas, territórios, vulnerabilidades e políticas públicas. A clareza da interface é uma forma de respeito ao usuário e uma condição de uso democrático da informação (quadro 6).

Quadro 6 - Indicador opaco x indicador explicado Exemplo com NDVI/TST/PCV

Dimensão / Indicador	Abordagem do Indicador Opaco(SIG Clássico / Vitrine de Dados)	Abordagem do Indicador Explicado(WebSIG Social / UrbVerde)
Princípio Teórico	**Abstração Isolada:** O dado é tratado como uma entidade matemática ou física puramente técnica, descolada do contexto social.	**Humanismo de Dados:** O dado é apresentado como uma informação que diz respeito a pessoas, territórios, vulnerabilidades e qualidade de vida.
Linguagem e Nomenclatura	**Uso restrito de siglas e jargões:** Exibe apenas "NDVI", "TST" ou "PCV", assumindo que o usuário possui formação na área.	**Tradução Responsável:** Associa a sigla técnica ao seu significado real na vida urbana, traduzindo conceitos sem perder a densidade científica.
Exemplo 1: NDVI *(Índice de Vegetação)*	Exibe no menu: `NDVI [-1, 1]`. A legenda mostra uma escala de cores abstrata sem explicar que valores próximos a 1 indicam florestas e valores próximos a 0 indicam solo exposto ou asfalto.	Exibe no menu: `Índice de Vegetação (NDVI)`. Explica textualmente que o indicador mede a "saúde" e densidade das plantas, ajudando a identificar onde há matas e onde o solo está totalmente urbanizado.
Exemplo 2: TST *(Temperatura de Superfície)*	Exibe no menu: `TST (°C ou Kelvin)`. O usuário confunde com a temperatura do ar (da previsão do tempo) e não entende por que o mapa marca 45°C em um dia de 30°C.	Exibe no menu: `Temperatura da Superfície Terrestre (TST)`. Explica que é a temperatura medida diretamente no chão, telhados e asfalto via satélite, servindo para identificar **Ilhas de Calor** e áreas com estresse térmico.
Exemplo 3: PCV *(Cobertura Vegetal)*	Exibe no menu: `PCV (%) por Setor Censitário`. Mostra apenas uma tabela ou mapa coroplético com porcentagens frias, sem contextualizar o que é aceitável ou deficitário.	Exibe no menu: `Percentual de Cobertura Vegetal por Bairro`. Mostra a proporção de sombra e árvores na área, correlacionando o indicador à **renda e desigualdade**, apontando quais bairros são desassistidos de arborização.
Legendas e Visualização *(Tufte / Cairo)*	**Apenas decorativa ou complexa:** Mapas com excesso de cores sem critérios claros de quebra, gráficos isolados e ausência de textos de apoio.	**Orientadora da interpretação:** Mapas, gráficos e painéis funcionam juntos. Legendas intuitivas vêm acompanhadas de glossários rápidos e caixas de ajuda (*tooltips*).
Nota Metodológica	**Oculta ou em PDF acadêmico externo:** O usuário vê o resultado na tela, mas não tem acesso fácil a quando o dado foi gerado ou quais os limites da imagem de satélite.	**Estruturada em multinível na Interface:** Oferece notas explicativas simples na própria tela (o que mostra, o que oculta, quando foi produzido) e links para a metodologia completa para especialistas.
Resultado Político e Social	**Monopólio interpretativo:** Produz curiosidade cartográfica momentânea, mas o usuário não sabe como usar o dado para propor uma melhoria ou um diagnóstico técnico.	**Instrumento de Cidadania:** Transforma visualização em conhecimento acionável. Permite que o cidadão, professor ou gestor use as evidências para subsidiar planos diretores e políticas de arborização.

9.5. Interação Humano-Computador como ponte

A Interação Humano-Computador oferece um conjunto de princípios, métodos e práticas para reduzir a distância entre sistemas complexos e usuários reais. No caso dos WebSIGs, a IHC pode atuar como ponte entre geoinformação e apropriação social. Sua função não é apenas tornar a plataforma visualmente agradável, mas organizar a experiência de uso de modo que o usuário consiga compreender, explorar e agir.

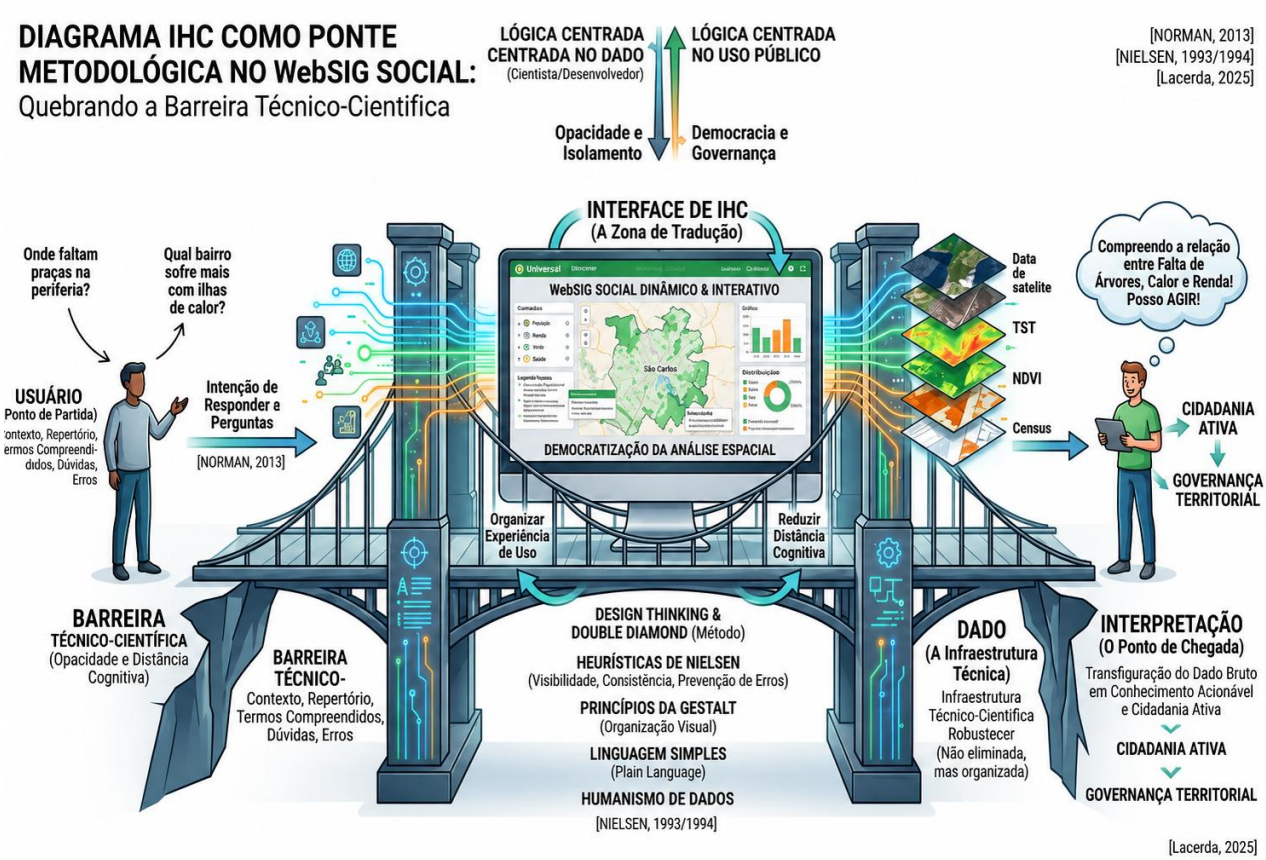
Norman argumenta que bons sistemas devem tornar suas possibilidades de uso compreensíveis, reduzindo a distância entre intenção do usuário e ação possível na interface (NORMAN, 2013). Nielsen entre intenção do usuário e ação possível na interface (NORMAN, 2013). Nielsen propõe heurísticas de usabilidade relacionadas à visibilidade do estado do sistema, correspondência entre sistema e mundo real, controle do usuário, consistência, prevenção de erros, reconhecimento em vez de memorização e simplicidade (NIELSEN, 1993; NIELSEN, 1994). Esses princípios são diretamente aplicáveis aos WebSIGs.

No caso da UrbVerde, Lacerda afirma que a reestruturação utilizou Design Thinking e Double Diamond, aliados a abordagens ágeis e centradas no usuário, além de conceitos de IHC como heurísticas de Nielsen, princípios da Gestalt, linguagem simples e humanismo de dados. Os resultados indicaram melhoria da usabilidade, clareza e engajamento dos usuários, favorecendo a análise de dados por gestores públicos e cidadãos.

Essa abordagem mostra que a interface não é uma etapa final do desenvolvimento. Ela deve orientar todo o processo. Uma plataforma pensada a partir do usuário pergunta: quem vai usar? Para quê? Em que contexto? Com que repertório técnico? Que decisões precisa tomar? Que informações precisa comparar? Que termos compreende? Que dúvidas terá? Que erros pode cometer? Que caminhos precisa percorrer?

A IHC permite deslocar o WebSIG de uma lógica centrada no dado para uma lógica centrada no uso público do dado. O dado continua fundamental, mas passa a ser organizado em função de jornadas de usuário, tarefas, perguntas, prioridades e decisões. Essa mudança é essencial para quebrar a barreira técnico-científica (figura 71).

Figura 71 - Diagrama IHC como ponte



9.6. Design Thinking, Double Diamond e escuta do usuário

Metodologias como Design Thinking e Double Diamond são relevantes porque introduzem a escuta do usuário no processo de desenvolvimento. Em vez de partir apenas da solução técnica, essas abordagens começam pela compreensão do problema, dos usuários, das necessidades, dos contextos de uso e das dificuldades enfrentadas. O Design Council organiza o Double Diamond em etapas de descoberta, definição, desenvolvimento e entrega, alternando momentos de abertura e refinamento do problema (DESIGN COUNCIL, 2019).

Lacerda mostra que a reestruturação da UrbVerde utilizou as etapas do Double Diamond e do Design Thinking, incluindo empatia, definição, ideação, prototipação e testes, além das fases de desenvolvimento e entrega. O objetivo era reformular a platafrreira técnica e científica durante o uso de seu WebSIG.

A etapa de empatia é especialmente importante em WebSIGs públicos. Muitas plataformas falham porque assumem que o usuário pensa como o desenvolvedor ou como o especialista em geoprocessamento. Mas gestores, professores, estudantes e cidadãos formulam perguntas de modo diferente. Um especialista pode procurar uma camada por seu nome técnico; um gestor pode procurar uma resposta para uma política; um professor pode procurar uma atividade didática; um jornalista pode procurar evidências para uma reportagem; um cidadão pode procurar entender seu bairro.

A prototipação permite testar essas hipóteses antes da implementação final. Protótipos de baixa, média e alta fidelidade ajudam a observar como usuários navegam, onde se perdem, que termos não entendem, que botões ignoram e que informações consideram relevantes. Lacerda registra a utilização de protótipos e testes de usabilidade na reestruturação da UrbVerde, incluindo heatmaps de cliqueação de dados estatísticos e teste de download de mapas.

O teste de usabilidade permitr substituir suposições por evidências. A equipe pode acreditar que a interface é clara, mas somente o uso real mostra se o usuário consegue completar tarefas, interpretar resultados e utilizar os dados. A democratização da geoinformação depende desse confronto entre intenção de projeto e experiência concreta (figura 72).

Figura 72 - Diagrama Double Diamond aplicado ao WebSIG Mostrar processo de design



9.7. Perfis de usuários e demandas distintas

Um WebSIG social precisa reconhecer que "usuário" não é uma categoria homogênea. Diferentes públicos têm diferentes repertórios, objetivos e formas de uso. A plataforma deve dialogar com especialistas, mas também com não especialistas. Essa multiplicidade exige uma arquitetura de informação capaz de oferecer diferentes níveis de profundidade.

O especialista em geoprocessamento precisa de dados brutos, downloads, metadados, documentação, formatos interoperáveis, precisão metodológica e possibilidade de reprodução. O gestor público precisa de indicadores claros, mapas comparáveis, prioridades territoriais, painéis de monitoramento e relação com políticas, metas e ações. O professor precisa de explicações didáticas, exemplos, mapas compreensíveis e atividades aplicáveis em sala de aula. O estudante precisa de linguagem acessível e relação com seu território cotidiano.

O jornalista precisa de evidências, comparações, fontes confiáveis e visualizações comunicáveis. A sociedade civil precisa de informações que possam apoiar reivindicações, diagnósticos comunitários e controle social. O cidadão comum precisa compreender como os dados dizem respeito ao seu bairro, à sua saúde, ao seu conforto térmico, ao acesso a áreas verdes e à qualidade ambiental.

A pirâmide especialista-usuário deve ser enfrentada com camadas de leitura. A plataforma pode oferecer uma leitura inicial simples e visual; uma segunda camada com explicações e indicadores; e uma terceira camada com metodologia, dados, downloads e documentação técnica. Essa arquitetura evita dois riscos: excluir o usuário comum pelo excesso de tecnicismo ou empobrecer a plataforma pela simplificação excessiva.

A UrbVerde aponta nessa direção ao buscar atender gestores públicos, escolas, pesquisadores e sociedade civil. Lacerda afirma que a plataforma procura auxiliar diversos segmentos da sociedade na elaboração de estudos acadêmicos, em escolas básicas, em planos diretores e em políticas públicas municipais, por meio de análises espaço-temporais sobre eventos climáticos, cobertur de superfície, espaços públicos e áreas verdes urbanas (quadro 7).

Quadro 7 - Tabela de Perfis de Usuários para Orientação do Desenvolvimento de WebSIG

Perfil do Usuário	Objetivo Principal (O que procura no WebSIG?)	Repertório Técnico e Riscos de Opacidade (Barreiras)	Diretrizes para o Desenvolvimento (IHC e Tradução Responsável)
Especialista ***(Cientista de dados, engenheiro, cartógrafo)***	Validar métodos científicos, produzir dados brutos, analisar incertezas matemáticas complexas e exportar camadas espaciais estruturadas.	**Alto repertório técnico.** O risco principal é o *monopólio interpretativo*, projetando a complexidade do SIG Desktop na web e excluindo o público leigo.	• Disponibilizar metadados completos e notas metodológicas aprofundadas. • Oferecer APIs abertas e download de dados brutos estruturados (*Shapefiles, GeoJSON, GeoTIFF*). • Transparência total sobre algoritmos e sensores (ex: Landsat, Sentinel).
Gestor / Técnico Público ***(Planejador municipal, secretário urbana)***	Subsidiar a tomada de decisão, justificar a destinação orçamentária, formular Planos Diretores e guiar políticas de adaptação climática.	**Médio a baixo repertório em SIG.** Risco de *reificação geográfica* (tomar o mapa como verdade absoluta sem entender as margens de erro) e escassez de tempo técnico.	• Desenvolver painéis de diagnóstico rápido e relatórios automatizados por município/bairro. • Agregar dados em unidades político-administrativas familiares. • Cruzar indicadores biofísicos (calor, vegetação) com dados socioeconômicos do Censo (renda, vulnerabilidade).
Professor ***(Educador do ensino básico ou superior)***	Utilizar a cartografia digital como ferramenta pedagógica para ilustrar dinâmicas socioambientais, crises climáticas e desigualdades na prática.	**Baixo a médio repertório em SIG.** Risco de frustração e abandono da ferramenta caso a interface seja lenta, instável ou complexa para o tempo restrito de uma aula.	• Disponibilizar roteiros pedagógicos e guias didáticos de uso. • Criar ferramentas simplificadas de comparação temporal (antes/depois). • Permitir a exportação rápida de visualizações limpas prontas para impressão ou projeção.
Estudante ***(Aluno de graduação ou ensino básico)***	Aprender conceitos geográficos e territoriais, além de coletar dados e evidências para a elaboração de trabalhos escolares e pesquisas acadêmicas.	**Baixo repertório em SIG.** Alta vulnerabilidade a barreiras semânticas causadas por siglas puras e jargões abstratos (ex: não entender o que significa *NDVI* ou *TST*).	• Interface altamente interativa, fluida e baseada na exploração visual crítica. • Substituir siglas técnicas por nomes descritivos funcionais nos menus principais. • Implementar caixas de ajuda integradas (*tooltips*) que explicam os indicadores de forma direta.
Jornalista ***(Repórter, editor, comunicador)***	Coletar dados quantitativos e evidências geográficas confiáveis para pautar e fundamentar reportagens sobre racismo ambiental, ilhas de calor e injustiça urbana.	**Baixo repertório em SIG, mas alto senso crítico.** Risco de interpretar dados de sensoriamento remoto de forma equivocada caso as fontes e limites temporais sejam opacos.	• Painéis visuais sintéticos que integram mapas, gráficos e tabelas síncronas (conforme as diretrizes de Tufte e Cairo). • Exportação de tabelas em formatos simples (*CSV, Excel*). • Indicação clara e explícita da data e da fonte de cada dado na própria tela.
Cidadão ***(Morador do município, liderança comunitária)***	Compreender a realidade climática e ambiental do seu próprio bairro, auditar ações da prefeitura e fundamentar reivindicações e propostas locais.	**Nenhum repertório formal em geoprocessamento.** Alto risco de exclusão cognitiva e isolamento social diante de "vitrines de dados" excessivamente técnicas.	• Design centrado no usuário absoluto e aplicação rigorosa de *Linguagem Simples* (Linguagem Cidadã). • Busca direta por endereço ou geolocalização do dispositivo. • Narrativas focadas em problemas reais ("Onde falta sombra", "Áreas sob risco de calor") e interface responsiva para celulares.

9.8. A falsa democratização: quando publicar não basta

Uma das armadilhas dos WebSIGs é confundir publicação com democratização. Publicar dados na internet é importante, mas insuficiente. A falsa democratização ocorre quando a plataforma está aberta, mas exige do usuário conhecimentos que ele não possui; quando os dados estão disponíveis, mas sem explicação; quando os mapas são interativos, mas não orientam a interpretação; quando os indicadores são precisos, mas incompreensíveis; quando há transparência formal, mas não apropriação social.

Essa falsa democratização é comum em portais técnicos. Muitas vezes, a instituição cumpre a exigência de abrir dados, mas não se preocupa com a experiência de uso. O resultado é uma plataforma que atende especialistas e exclui o público mais amplo. A barreira deixa de ser de acesso e passa a ser de compreensão.

Câmara, Monteiro e Medeiros alertam que computadores e estruturas de dados condicionam a forma como os problemas geográficos podem ser expressos, e que muitos usuários tomam as estruturas computacionais pela própria realidade, processo que chamam de reificação geográfica (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). Esse risco é ampliado quando plataformas publicam mapas sem explicar seus métodos e limites. A aparente objetividade da visualização pode ocultar escolhas técnicas e políticas.

A verdadeira democratização exige que o sistema ajude o usuário a compreender o que os dados significam e o que eles não significam. Isso implica explicar conceitos, indicar incertezas, apresentar fontes, contextualizar indicadores, oferecer exemplos de leitura e permitir diferentes formas de acesso. Um WebSIG democrático não entrega apenas mapas; entrega condições de interpretação.

Por isso, a democratização da geoinformação deve ser pensada como processo. Ela envolve desenho da interface, formação dos usuários, documentação, oficinas, materiais didáticos, suporte institucional, comunicação pública e atualização contínua. O WebSIG não é apenas produto digital, mas infraestrutura sociotécnica (quadro 8).

Quadro 8 - Quadro de Alerta Crítico: A Armadilha da Falsa Democratização no WebSIG

Componente Analítico	A Armadilha da Falsa Democratização(Transparência Formal / Portal Técnico)	O Risco Oculto e o Fundamento Crítico(A Reificação Geográfica)	A Diretriz de Verdadeira Democratização(O WebSIG como Infraestrutura Sociotécnica)
TESE CRÍTICA CENTRAL	**Publicar dados não é democratizar.** A instituição elimina a barreira do *acesso físico* ao abrir um portal na internet, mas mantém intacta a barreira da *compreensão cognitiva*.	A transparência formal funciona como um simulacro de inclusão, mascarando o monopólio interpretativo dos especialistas sob o manto da "neutralidade e modernidade tecnológica".	**Entregar condições de interpretação.** A democratização é um processo contínuo e pedagógico. O foco se desloca da quantidade de dados brutos publicados para a capacidade real de apropriação social da informação.
Acessibilidade vs. Compreensão	A plataforma está aberta e disponível via navegador, mas exige do usuário leigo um repertório e conhecimentos de geoprocessamento que ele não possui.	A barreira de exclusão social deixa de ser física (ter ou não o arquivo) e passa a ser puramente cognitiva (saber ou não ler o sistema). Atende especialistas e exclui o público amplo.	**Design Centrado no Usuário:** Desenvolver interfaces adaptadas às jornadas e perguntas de cidadãos, gestores, professores e jornalistas, garantindo que o sistema seja autoexplicativo.
Linguagem e Indicadores	Os indicadores ambientais e sociourbanos são matematicamente precisos e robustos, mas são apresentados por meio de siglas puras (NDVI, TST, PCV) e jargões incompreensíveis.	Os dados tornam-se socialmente inúteis. O usuário observa resultados abstratos na tela, mas não consegue extrair deles um sentido prático para a sua realidade territorial.	**Tradução Responsável:** Explicar conceitos complexos sem eliminar sua densidade científica. Substituir siglas por termos descritivos claros e em linguagem simples (*plain language*).
Interatividade Cartográfica	O mapa permite ligar/desligar camadas, dar zoom e clicar nos polígonos, mas a interface não orienta o usuário sobre como interpretar ou cruzar aquelas camadas.	**A ilusão da interatividade:** O usuário é transformado em um espectador passivo de "curiosidades cartográficas", incapaz de converter a interação digital em um diagnóstico territorial crítico.	**Visualização Orientadora (Tufte / Cairo):** Mapas, gráficos e painéis estatísticos funcionam de forma síncrona, acompanhados de glossários integrados e exemplos de leitura contextualizados.
Objetividade da Imagem	Publicação de mapas coloridos e "limpos" sem a devida contextualização dos métodos de produção, limites de resolução espacial ou datas de coleta.	**Reificação Geográfica (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003):** O usuário leigo toma a estrutura computacional rígida na tela como se fosse a própria realidade absoluta, ignorando as incertezas, erros de sensores e as **escolhas políticas** embutidas no mapa.	**Transparência Metodológica Multinível:** Indicar explicitamente na própria tela as fontes, datas das imagens, margens de incerteza e limitações dos dados, destruindo o mito da infalibilidade técnica.
Natureza do Sistema	O WebSIG é tratado de forma estática, como um mero **produto digital acabado** ou um repositório institucional para o cumprimento de exigências burocráticas de dados abertos.	Reduz a geoinformação a uma mercadoria visual ou um painel de controle tecnocrático isolado da dinâmica social e dos conflitos reais das cidades.	**Infraestrutura Sociotécnica:** O sistema envolve o desenho da interface aliado a ações externas: oficinas comunitárias, materiais didáticos, formação de usuários, comunicação pública e atualização contínua para subsidiar a cidadania ativa.

9.9. UrbVerde: barreira técnica, reestruturação e aprendizado

A experiência da UrbVerde é especialmente relevante porque explicita, em um caso concreto, a tensão entre capacidade técnica e apropriação social. A plataforma foi criada para fornecer indicadores socioambientais em escala municipal e intraurbana, apoiando adaptação climática, planejamento urbano e redução de desigualdades. No entanto, a expansão da plataforma e a implementação de novos painéis exigiram reestruturação técnica e comunicacional.

Lacerda registra que, para implementar o Painel de Políticas Públicas e garantir expansão e escalabilidade futura, a equipe constatou a necessidade de reestruturação e refatoração total da UrbVerde, pois sua versão inicial apresentava desafios estruturais e funcionais no design e no código. A nova versão deveria ser escalável, acessíveários, capaz de comportar futuras camadas e indicadores.

Essa reestruturação mostra que a barreira técnico-científica não está apenas no usuário; ela também pode estar na própria plataforma. Sistemas mal organizados, códigos pouco escaláveis, interfaces confusas, indicadores sem explicação e fluxos de navegação difíceis tornam a apropriação mais limitada. A democratização exige, portanto, uma engenharia técnica e uma engenharia da experiência.

O objetivo geral do trabalho de Lacerda foi analisar o uso de princípios e metodologias de IHC em SIG visando à democratização do uso de dados geoespaciais e à superação da barreira técnica e científica que rescialistas durante a geração de análises socioambientais. Essa formulação resume o problema central deste capítulo: como fazer com que um WebSIG deixe de ser ferramenta de poucos e se torne infraestrutura pública de leitura territorial?

O aprendizado da UrbVerde indica que a resposta passa por três dimensões. A primeira é técnica: plataforma escalável, dados organizados, arquitetura robusta e processamento confiável. A segunda é comunicacional: linguagem simples, visualização clara, estrutura de navegação e explicação dos indicadores. A terceira é política: conexão com políticas públicas, adaptação climática, desigualdades territoriais e uso social dos dados (figura 73).

Figura 73 - Antes/depois da UrbVerde: Diagrama da interface técnica → interface orientada ao usuário

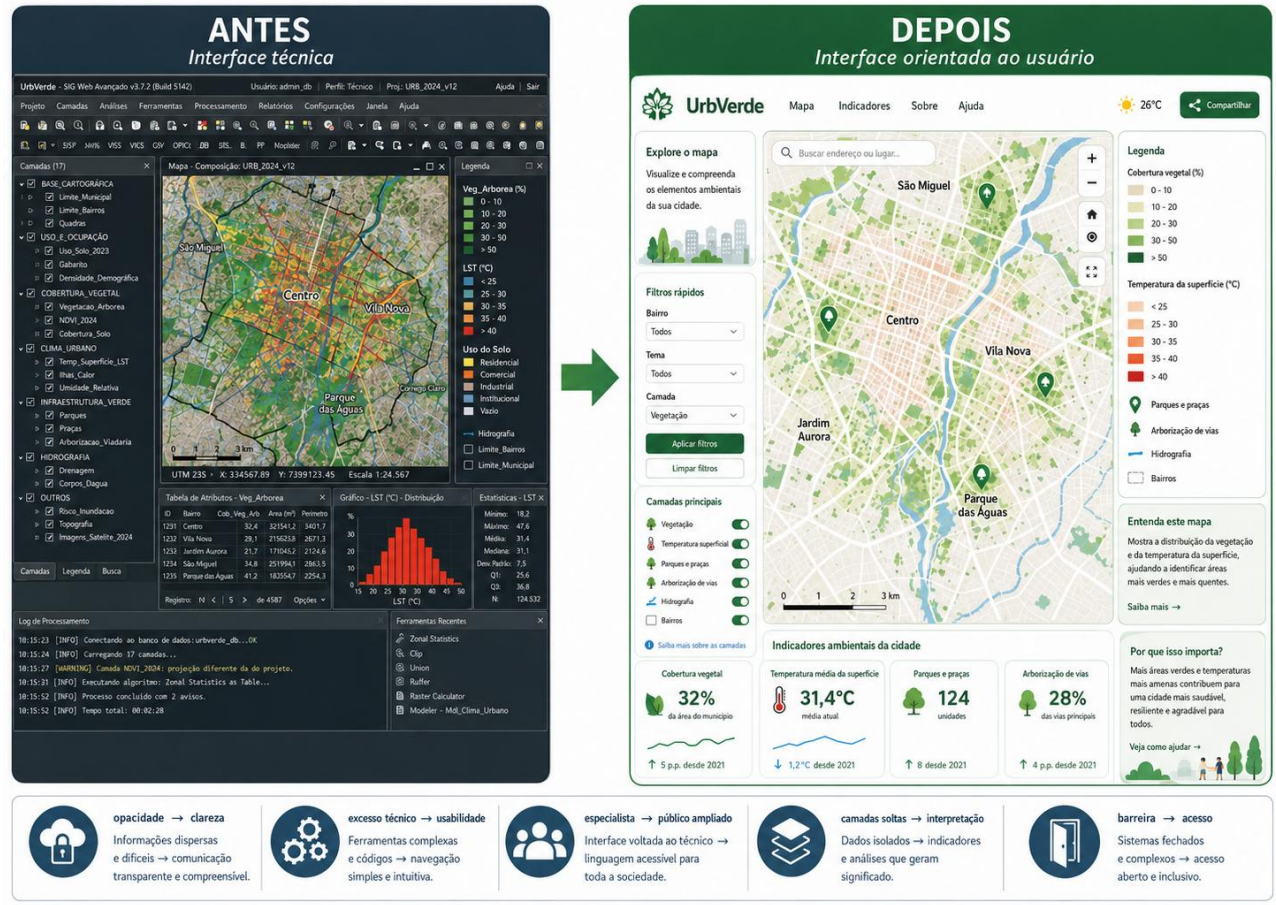


*Figura – Evolução da interface da plataforma **UrbVerde:** de uma abordagem técnica para uma experiência centrada no usuário e na inteligência pública.*

9.10. Reduzir a barreira sem banalizar o conhecimento

Um dos desafios mais delicados é reduzir a barreira técnico-científica sem banalizar o conhecimento. Há uma diferença entre simplificar a interface e simplificar indevidamente os conceitos. O WebSIG social precisa tornar a informação acessível sem apagar sua complexidade. Isso exige uma pedagogia da geoinformação.

A linguagem simples não significa linguagem pobre. Significa escrever e organizar informações para que o usuário compreenda o essencial, possa aprofundar quando desejar e saiba como utilizar os dados corretamente. Um indicador pode ter uma explicação curta na interface, uma explicação intermediária em um painel de ajuda e uma documentação metodológica completa para especialistas. Essa estrutura por camadas permite atender públicos diversos.

O mesmo vale para visualizações. Um mapa pode apresentar uma classificação clara para leitura rápida, mas também permitir acesso a valores numéricos, séries históricas, gráficos e downloads. A plataforma pode orientar o usuário por perguntas públicas - "onde há mais calor?", "onde falta vegetação?", "quem está mais distante de praças?" - sem esconder os métodos usados para responder a essas perguntas.

Essa abordagem dialoga com o princípio de reconhecimento em vez de memorização proposto por Nielsen. O sistema deve reduzir a carga cognitiva, tornando opções, informações e caminhos visíveis para o usuário, sem exigir que ele memorize comandos ou conceitos técnicos (NIELSEN, 1994). Em WebSIGs, isso significa menus claros, legendas compreensíveis, fluxos lógicos, ajuda contextual e feedback sobre ações realizadas.

Reduzir a barreira é, portanto, uma tarefa de tradução. Traduzir dados em indicadores, indicadores em visualizações, visualizações em perguntas, perguntas em diagnósticos e diagnósticos em possibilidades de ação. O WebSIG do século XXI será tão mais democrático quanto melhor realizar essa cadeia de tradução sem romper o vínculo com o rigor científico.

9.11. Considerações finais

A barreira técnico-científica dos SIG é um dos principais desafios para o WebSIG do século XXI. A história da geoinformação ampliou a capacidade de produzir, processar e visualizar dados espaciais, mas essa capacidade permaneceu, por muito tempo, concentrada em especialistas. A internet, a geoweb e as plataformas comerciais reduziram a estranheza social diante dos mapas digitais, mas não eliminaram a distância entre navegação cotidiana e análise territorial crítica.

A Interação Humano-Computador aparece como caminho fundamental para enfrentar essa distância. Usabilidade, acessibilidade, Design Thinking, Double Diamond, testes com usuários, linguagem simples, visualização clara e humanismo de dados não são recursos periféricos; são condições para que o WebSIG deixe de ser apenas tecnologia de visualização e se torne tecnologia pública de interpretação.

A experiência da UrbVerde mostra que essa transição é possível, mas exige reestruturação técnica, escuta dos usuários, clareza metodológica e compromisso público. Democratizar a geoinformação não é apenas abrir mapas: é permitir que diferentes sujeitos compreendam o território, formulem perguntas, comparem desigualdades, interpretem indicadores e participem da construção de políticas públicas.

Referências bibliográficas

CAIRO, Alberto. **The Truthful Art: Data, Charts, and Maps for Communication**. Berkeley: New Riders, 2016.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

DESIGN COUNCIL. **Framework for Innovation: Design Council's evolved Double Diamond**. Londres: Design Council, 2019.

HARLEY, John Brian. **Deconstructing the map**. *Cartographica*, v. 26, n. 2, p. 1-20, 1989.

KRUG, Steve. **Don't Make Me Think, Revisited: A Common Sense Approach to Web Usability**. 3. ed. Berkeley: New Riders, 2014.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

MONMONIER, Mark. **How to Lie with Maps**. 2. ed. Chicago: University of Chicago Press, 1996.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

NIELSEN, Jakob. **10 Usability Heuristics for User Interface Design**. Nielsen Norman Group, 1994.

NORMAN, Donald A. **The Design of Everyday Things**. Revised and expanded edition. New York: Basic Books, 2013.

TUFTE, Edward R. **The Visual Display of Quantitative Information**. 2. ed. Cheshire: Graphics Press, 2001.

WARSCHAUER, Mark. **Technology and Social Inclusion: Rethinking the Digital Divide**. Cambridge: MIT Press, 2003.

Capítulo 10 - Engenharia estrutural do WebSIG do século XXI

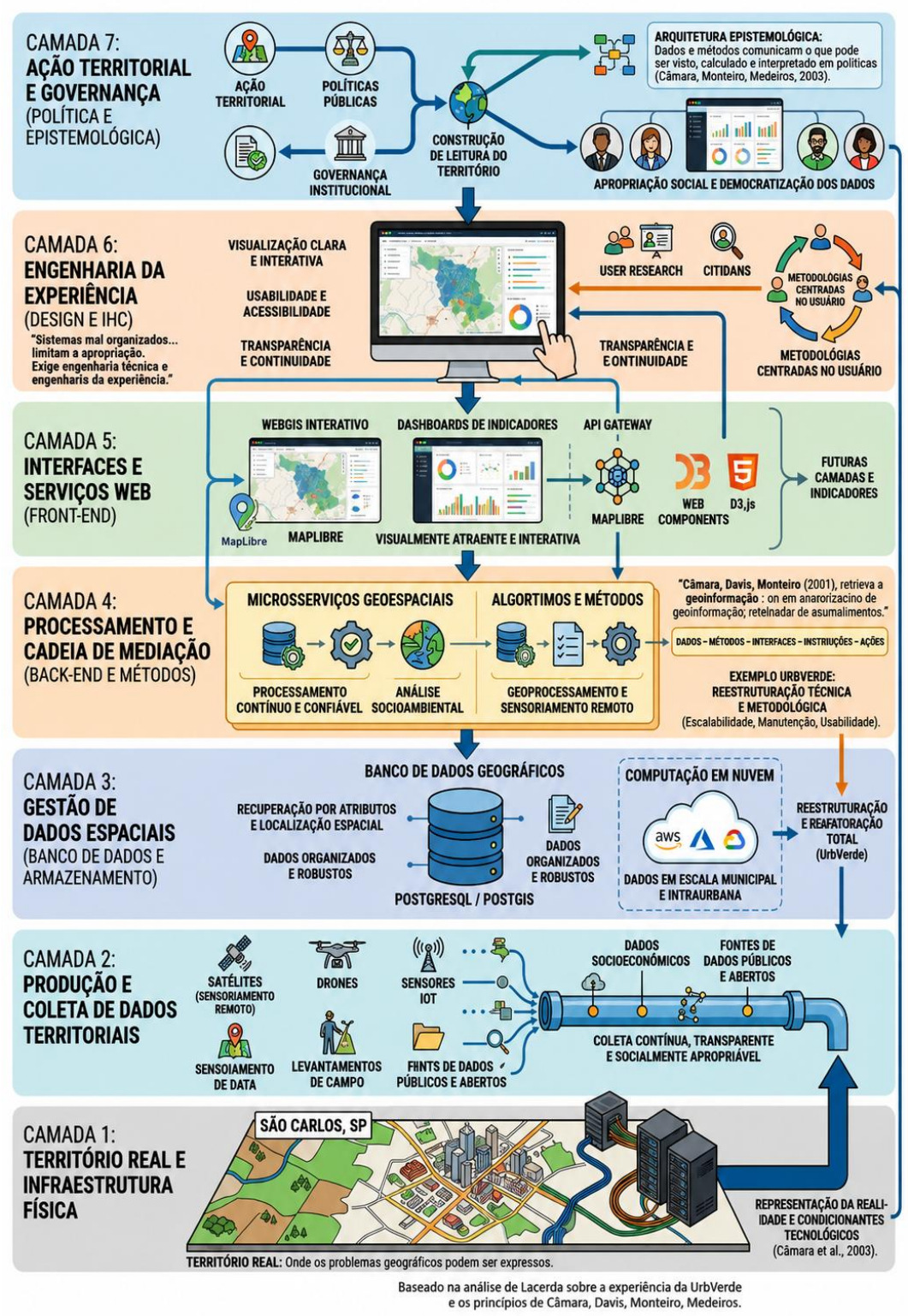
O WebSIG do século XXI exige uma engenharia estrutural distinta daquela que orientou os SIG tradicionais e mesmo muitos dos primeiros WebSIGs. Não se trata apenas de publicar mapas na internet, disponibilizar camadas geográficas ou construir uma interface visualmente atraente. Trata-se de organizar uma infraestrutura sociotécnica capaz de produzir, processar, armazenar, servir, visualizar, interpretar e atualizar dados territoriais de modo contínuo, transparente e socialmente apropriável. Um WebSIG contemporâneo precisa articular ciência da geoinformação, engenharia de software, bancos de dados espaciais, sensoriamento remoto, computação em nuvem, design de interfaces, governança institucional e políticas públicas.

Essa engenharia não pode ser pensada apenas como arquitetura computacional. Ela também é uma arquitetura epistemológica e política. Ao decidir quais dados serão utilizados, como serão processados, que indicadores serão produzidos, que camadas serão exibidas, como os usuários poderão interagir com a plataforma e de que maneira os resultados serão conectados a decisões públicas, o WebSIG constrói uma determinada forma de leitura do território. Por isso, sua engenharia estrutural deve ser compreendida como uma cadeia de mediações entre dados, métodos, interfaces, instituições e ações territoriais.

Câmara, Davis e Monteiro definem os SIG como sistemas capazes de tratar computacionalmente dados geográficos, recuperando informações tanto por seus atributos quanto por sua localização espacial (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Câmara, Monteiro e Medeiros acrescentam uma advertência epistemológica que deve ser destacada: computadores são ferramentas de representação da realidade, e as estruturas de dados e algoritmos disponíveis em cada estágio tecnológico condicionam as formas pelas quais os problemas geográficos podem ser expressos computacionalmente (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). Essa observação é central para pensar a engenharia do WebSIG: sua estrutura técnica não é neutra, pois define o que pode ser visto, cruzado, calculado, interpretado e transformado em política pública.

A experiência da UrbVerde mostra concretamente essa complexidade. O trabalho de Lacerda demonstra que a reestruturação da plataforma envolveu não apenas melhorias visuais, mas uma reorganização técnica e metodológica voltada à escalabilidade, manutenção, usabilidade, desempenho e democratização dos dados socioambientais. A nova arquitetura articulou front-end, back-end, banco de dados, APIs, MapLibre, PostgreSQL, princípios de engenharia de software e metodologias centradas no usuário (LACERDA, 2025) (figura 74).

Figura 74 - Arquitetura em camadas do WebSIG do século XXI: uma infraestrutura sociotécnica contínua e democrática



10.1. Da ferramenta cartográfica à infraestrutura sociotécnica

A primeira mudança necessária é compreender que um WebSIG do século XXI não é apenas uma ferramenta cartográfica. Ele é uma infraestrutura sociotécnica. Essa expressão indica que a plataforma combina elementos técnicos - código, servidores, bancos de dados, APIs, camadas, algoritmos, interfaces - e elementos sociais - usuários, instituições, políticas, equipes, rotinas, financiamento, pactuações e formas de interpretação. O WebSIG não existe apenas como software; ele existe como arranjo de produção e circulação de conhecimento territorial.

Essa concepção permite superar a ideia de que a construção de um WebSIG se resume à escolha de uma biblioteca de mapas ou à publicação de arquivos geográficos. O mapa visível ao usuário é apenas a face mais evidente de uma cadeia muito mais ampla. Antes de aparecer na interface, os dados precisam ser selecionados, coletados, tratados, classificados, validados, documentados, armazenados, indexados, processados, disponibilizados por serviços e traduzidos em visualizações compreensíveis. Depois de publicados, precisam ser atualizados, monitorados, corrigidos e utilizados em contextos institucionais concretos.

Essa cadeia é especialmente importante em plataformas públicas. Um WebSIG voltado a políticas públicas não pode depender apenas de improviso técnico ou soluções pontuais. Ele precisa de rastreabilidade, estabilidade, documentação, controle de qualidade e capacidade de manutenção. Precisa também permitir que diferentes públicos compreendam suas informações: especialistas, gestores, professores, estudantes, jornalistas, organizações sociais e cidadãos.

A engenharia estrutural do WebSIG deve, portanto, ser pensada em camadas. Cada camada cumpre uma função específica, mas todas se articulam. A camada de dados define a base empírica. A camada de processamento transforma dados brutos em informação. A camada de banco organiza armazenamento, consulta e relacionamento. A camada de serviços permite interoperabilidade e acesso. A camada de interface organiza a experiência do usuário. A camada de interpretação transforma visualização em compreensão. A camada institucional garante continuidade. A camada política conecta a plataforma a decisões, planos, metas e monitoramento.

Essa estrutura em camadas não é uma receita rígida, mas um modelo analítico. Ela ajuda a compreender que o WebSIG do século XXI precisa ser projetado de modo sistêmico. Uma interface excelente não compensa dados ruins. Dados robustos não bastam se a interface é incompreensível. Processamento sofisticado perde sentido se não houver conexão com políticas públicas. A engenharia estrutural deve articular o conjunto.

10.2. Camada de dados: fontes, qualidade, metadados e versionamento

A camada de dados é a base de qualquer WebSIG. Ela define quais fenômenos serão representados, em que escala, com que resolução, em que período e com que nível de confiabilidade. Dados geográficos podem vir de diferentes fontes: sensoriamento remoto, cadastros municipais, bases censitárias, levantamentos de campo, imagens orbitais, dados colaborativos, inventários ambientais, redes de sensores, dados administrativos, modelos climáticos e bases de infraestrutura.

No caso de plataformas socioambientais, como a UrbVerde, essa diversidade é particularmente importante. Indicadores de vegetação, temperatura de superfície, impermeabilização do solo, parques, praças, hidrografia, vulnerabilidade social e emissões podem depender de fontes heterogêneas. Algumas são raster, como imagens de satélite e superfícies contínuas; outras são vetoriais, como limites municipais, setores censitários, parques, praças, vias e redes de drenagem. Lacerda observa que o Google Earth Engine facilita a geração de grandes volumes de informações espaciais classificáveis em dois modelos fundamentais: raster, geralmente associado ao sensoriamento remoto e a fenômenos contínuos; e vetorial, representado por pontos, linhas e polígonos, adequado a dados cadastrais e redes (LACERDA, 2025).

A qualidade dos dados é uma dimensão muito importante. Dados desatualizados, incompletos, incompatíveis ou mal documentados podem comprometer toda a plataforma. A qualidade envolve precisão posicional, consistência temática, resolução espacial, temporalidade, completude, metodologia de produção, validade estatística e adequação ao uso pretendido. Um dado pode ser adequado para análise estadual, mas inadequado para análise intraurbana; pode ser útil para diagnóstico geral, mas insuficiente para decisão cadastral; pode revelar tendências, mas não permitir leitura de detalhe.

Por isso, metadados são fundamentais. Eles informam a origem dos dados, método de produção, escala, resolução, data, responsáveis, limitações, formatos, licença de uso e formas de atualização. Sem metadados, o WebSIG corre o risco de se tornar uma vitrine de camadas sem lastro metodológico. Com metadados, a plataforma ganha transparência, confiabilidade e possibilidade de reprodução.

O versionamento também é indispensável. Plataformas dinâmicas mudam ao longo do tempo: camadas são corrigidas, indicadores são recalculados, bases são atualizadas, metodologias são aperfeiçoadas. Sem versionamento, o usuário não sabe se está comparando dados produzidos com o mesmo método ou com métodos diferentes. Para políticas públicas, isso é especialmente sensível, pois metas e indicadores de monitoramento exigem séries consistentes.

A camada de dados, portanto, não deve ser tratada apenas como repositório. Ela é a base epistemológica da plataforma. Ao escolher e organizar dados, o WebSIG define o que será visível. Também define o que ficará invisível. Essa seleção precisa ser consciente, documentada e debatida (quadro 9).

Quadro 9 - Tabela de Síntese Técnica: Camada de Dados no WebSIG do Século XXI

Dimensão	Descrição e Especificação Técnica	Aplicação Prática (Caso UrbVerde)	Impacto na Democratização e Apropriação Social
Fontes de Dados	Origem heterogênea de dados geográficos estruturados em dois modelos principais: • **Raster (Matricial):** Imagens orbitais e grades contínuas. • **Vetorial:** Geometrias discretas (pontos, linhas e polígonos) para dados cadastrais e malhas.	Integração de dados de sensoriamento remoto massivos processados no **Google Earth Engine** (índices de vegetação, temperatura de superfície) com dados censitários (IBGE), malhas de bairros, praças e redes de drenagem geridos no **PostgreSQL/PostGIS**.	A superação da barreira técnica ocorre ao cruzar e unificar fontes complexas em uma única plataforma, traduzindo dados biofísicos de satélite em informações urbanas inteligíveis para tomadores de decisão e cidadãos.
Escala Cartográfica	Nível de detalhamento espacial e abstração da realidade territorial. Define a abrangência e a aplicabilidade do dado (ex: adequação estatística e geométrica para micro vs. macroanálises).	Foco absoluto nas escalas **municipal** e **intraurbana** (recortes por bairros e setores censitários), permitindo diagnósticos de detalhe que capturam as disparidades socioambientais de cada município.	Garante o direito à leitura territorial local. Uma escala genérica (como a estadual) oculta desigualdades; a escala intraurbana revela as assimetrias e vulnerabilidades reais exatamente onde as populações vulneráveis residem.
Resolução (Espacial/Temporal)	• **Espacial:** Menor unidade de área distinguível na superfície terrestre (tamanho do pixel ou precisão de vértices). • **Temporal:** Frequência de atualização e extensão cronológica das séries históricas.	Emprego de resoluções métricas para dados de infraestrutura cinza/verde urbana e decamétricas para monitoramento biofísico da cobertura vegetal e ilhas de calor, assegurando recortes temporais consistentes.	Evita distorções interpretativas por parte de não-especialistas. Resoluções espaciais e temporais adequadas e calibradas conferem segurança técnica para auditar o progresso real de políticas climáticas locais.
Metadados	Documentação estrita padronizada ("o dado sobre o dado"). Informa: origem, método de produção, autoria, projeção, data, restrições e limitações de uso e formas de cálculo.	Implementação de painéis explicativos nativos integrados à interface (como no *Painel de Políticas Públicas*), detalhando a fórmula de cálculo, autoria e o significado de cada indicador gerado.	Combate o fenômeno da *"vitrine de camadas sem lastro metodológico"*. Promove transparência radical e reprodutibilidade científica, permitindo ao usuário comum compreender o "porquê" e o "como" do dado.
Versionamento	Controle de modificações, correções de inconsistências geométricas, refinamentos de algoritmos e atualizações periódicas de bases, mantendo a compatibilidade histórica.	Refatoração total do código-fonte e do banco de dados para garantir a expansão modular e escalabilidade da plataforma, permitindo introduzir novas camadas e painéis sem romper a integridade das séries anteriores.	Confere estabilidade e segurança jurídica para o planejamento urbano e monitoramento de metas de longo prazo. Garante que a sociedade compare dados criados sob os mesmos critérios metodológicos.

10.3. Camada de processamento: scripts, nuvem, modelos e automação

A camada de processamento transforma dados brutos em informações utilizáveis. Ela envolve scripts, rotinas, algoritmos, modelos, classificações, cálculos de indicadores, agregações territoriais, tratamento de imagens, cruzamentos espaciais e geração de produtos derivados. No WebSIG do século XXI, essa camada tende a ser cada vez mais automatizada, escalável e baseada em computação em nuvem.

A computação em nuvem ampliou radicalmente a capacidade de processamento geoespacial. Em vez de depender apenas da máquina local, pesquisadores e equipes técnicas podem processar grandes volumes de imagens e dados em infraestruturas distribuídas. Gorelick et al. definem o Google Earth Engine como uma plataforma de análise geoespacial em escala planetária, capaz de combinar grandes catálogos de imagens de satélite com infraestrutura computacional em nuvem (GORELICK et al., 2017). Na experiência da UrbVerde, Lacerda destaca que a geração de dados georreferenciados se baseia fortemente em computação em nuvem, especialmente no Google Earth Engine, utilizado para produzir informações em larga escala, inclusive estadual e nacional (LACERDA, 2025).

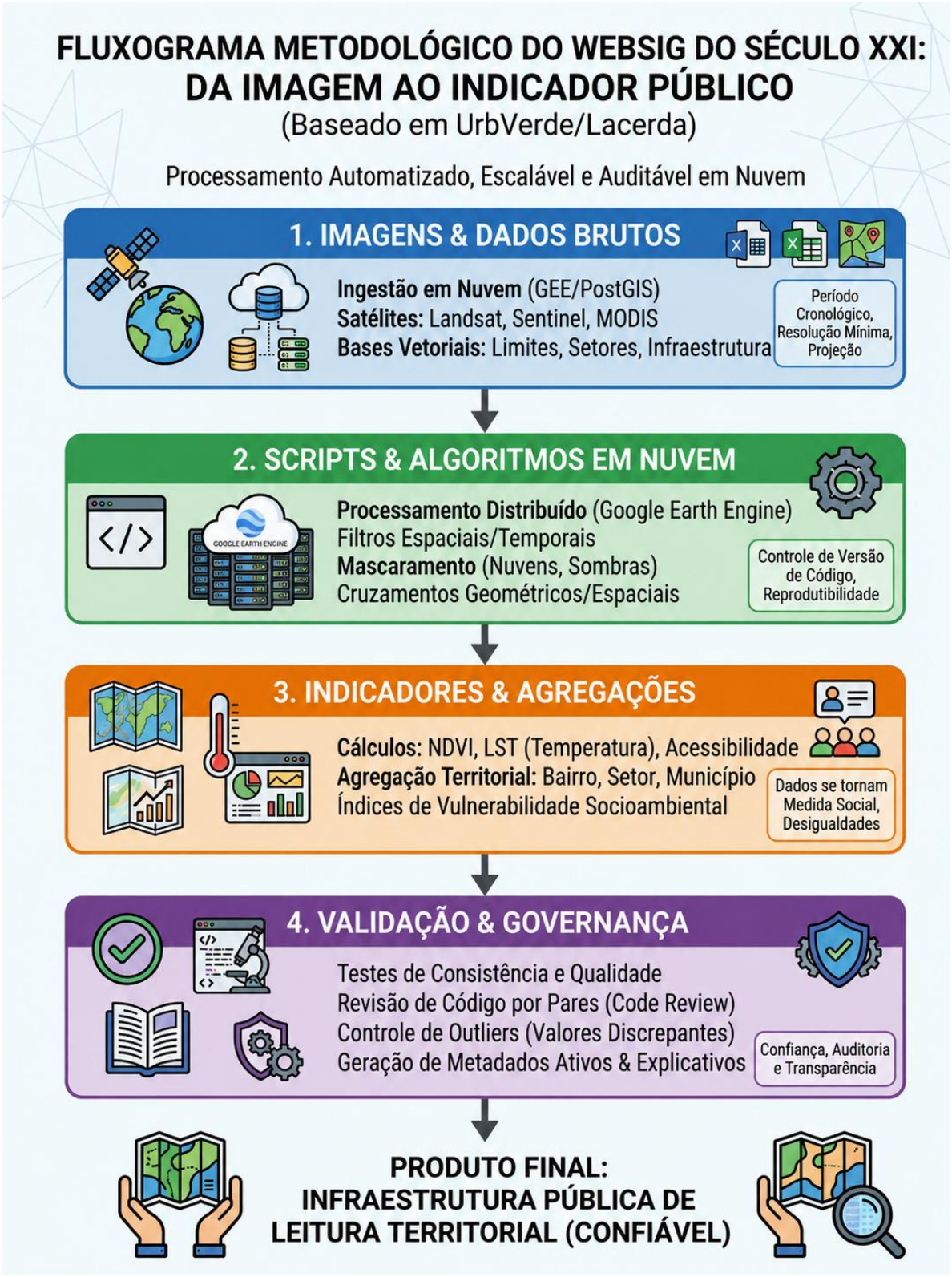
Essa camada é responsável por transformar imagens, tabelas e bases espaciais em indicadores. Uma imagem de satélite pode gerar NDVI; séries temporais podem gerar métricas de vegetação; bandas térmicas podem produzir temperatura de superfície; dados vetoriais podem gerar distância média a praças; cruzamentos entre camadas podem gerar indicadores de exposição, vulnerabilidade ou desigualdade. O processamento é o momento em que o dado se torna medida.

Entretanto, essa transformação exige cuidado metodológico. Cada indicador depende de decisões: que imagem usar, que período escolher, que filtro aplicar, que resolução adotar, que fórmula utilizar, que unidade territorial considerar, que limiar classificar, que estatística calcular, que valores excluir. Essas decisões precisam estar documentadas. A automação não deve esconder o método; deve torná-lo mais reprodutível.

A automação é especialmente importante para plataformas que pretendem ser atualizadas continuamente. Scripts bem estruturados reduzem erros manuais, permitem reprocessamento, facilitam auditoria e tornam a plataforma escalável. Mas a automação exige governança: controle de versões, revisão de código, validação dos resultados, padronização de nomes, testes e documentação.

A camada de processamento deve, portanto, combinar eficiência e transparência. O objetivo não é apenas gerar dados rapidamente, mas produzir informação confiável, reprodutível e compreensível. Um WebSIG público precisa permitir que seus indicadores sejam explicados, auditados e atualizados(figura 75).

Figura 75 - Processamento: imagens → scripts → indicadores → validação



10.4. Camada de banco: SGBD espacial, geometrias, atributos e índices

A camada de banco organiza o armazenamento e a consulta das informações. Em um WebSIG simples, os dados podem estar em arquivos. Em uma plataforma robusta, é necessário utilizar Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados, preferencialmente com suporte espacial, capazes de armazenar geometrias, atributos, índices, relações, metadados e histórico de atualizações.

Câmara, Davis e Monteiro discutem a estratégia dual de organização dos dados geográficos, na qual atributos são armazenados em tabelas relacionais e vinculados às representações geométricas por identificadores (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Essa lógica aparece na UrbVerde: Lacerda descreve o uso de tabelas vetoriais georreferenciadas, organizadas em SGBD, com campos como código municipal, geometria e indicadores, permitindo a ligação entre dados descritivos e formas espaciais (LACERDA, 2025).

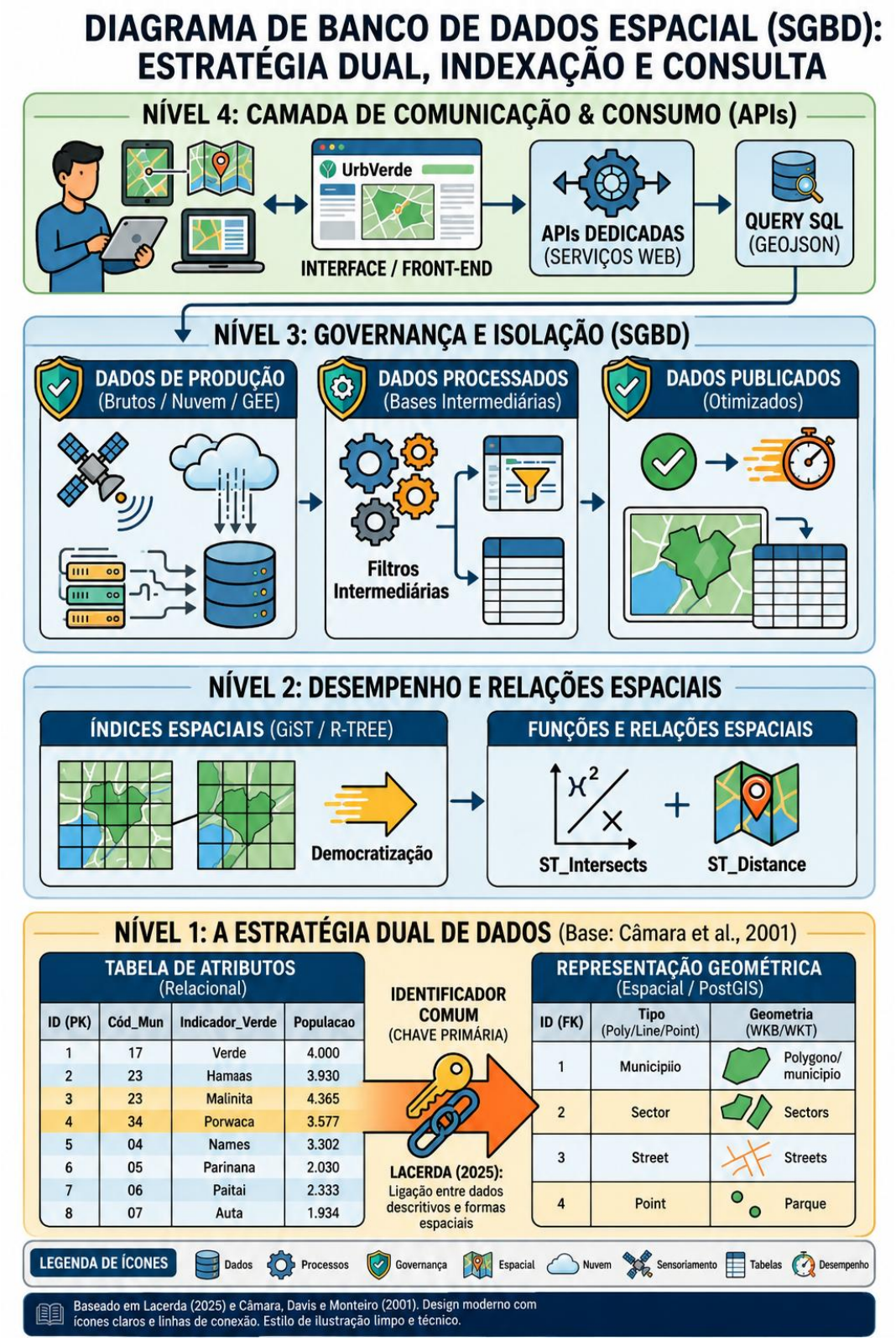
O banco espacial permite consultas que seriam difíceis ou lentas em arquivos dispersos. É possível recuperar objetos por localização, selecionar áreas por atributos, calcular relações espaciais, gerar agregações, cruzar tabelas, indexar geometrias e alimentar APIs. A indexação espacial é fundamental para desempenho: sem ela, consultas em grandes bases podem se tornar lentas e inviáveis para uso público.

No WebSIG do século XXI, o banco não é apenas armazenamento. Ele é parte da inteligência da plataforma. A forma como tabelas são estruturadas, chaves são definidas, geometrias são organizadas e atributos são nomeados influencia diretamente a manutenção, a escalabilidade e a clareza do sistema. Um banco mal planejado dificulta a expansão da plataforma; um banco bem desenhado permite incorporar novas camadas, novos recortes e novos indicadores.

Também é importante distinguir dados de produção, dados processados e dados publicados. Dados brutos podem ficar armazenados em ambiente de processamento; dados tratados podem compor bases intermediárias; dados publicados devem ser organizados para consulta eficiente e interpretação pública. Essa separação melhora a governança da plataforma.

Na experiência da UrbVerde, a manutenção da estratégia dual em SGBD PostgreSQL e o desenvolvimento de APIs para comunicação entre banco e interface mostram a importância dessa camada. Lacerda registra que, no back-end, foi mantida a estratégia dual de tabelas vetoriais e seu gerenciamento por meio de PostgreSQL, além do desenvolvimento de APIs dedicadas para intermediar a comunicação entre banco de dados e interface (LACERDA, 2025) (figura 76).

Figura 76 - Banco espacial: geometrias, atributos, índices e relações



10.5. Camada de serviços: APIs, padrões, tiles e downloads

A camada de serviços conecta banco, processamento e interface. Ela permite que dados sejam acessados por aplicações, usuários, sistemas externos e outros WebSIGs. Sem essa camada, a plataforma tende a se tornar fechada, pouco interoperável e dependente de fluxos manuais. Com ela, o WebSIG passa a operar como infraestrutura aberta de dados territoriais.

APIs são fundamentais nesse processo. Elas permitem que a interface solicite dados ao back-end, que usuários consultem informações específicas, que outros sistemas integrem camadas e que novas aplicações sejam construídas a partir da plataforma. Uma API bem desenhada reduz acoplamento, melhora manutenção e facilita expansão.

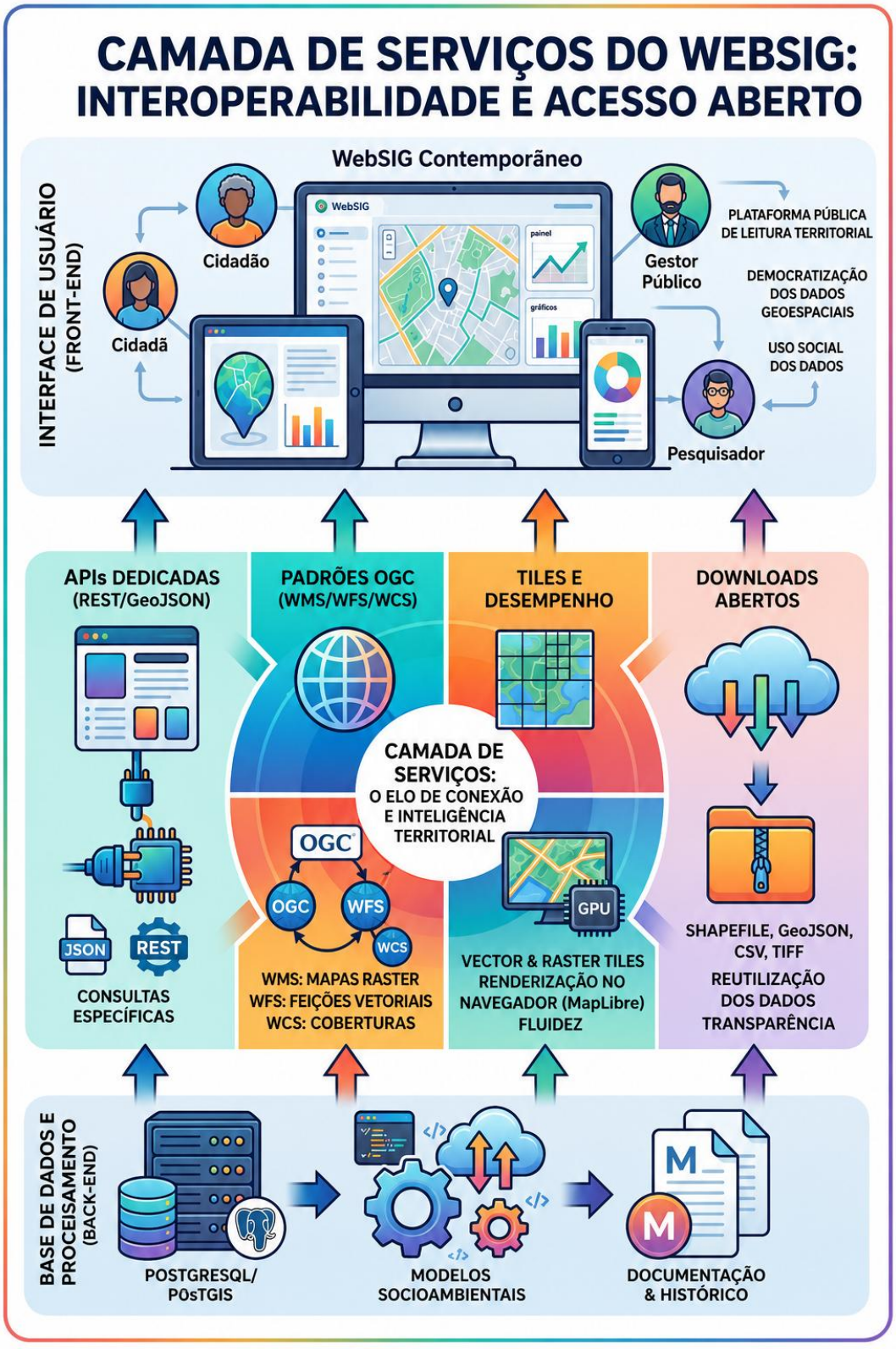
Padrões geoespaciais também são importantes. Serviços como WMS, WFS, WCS e CSW, formulados no âmbito do Open Geospatial Consortium, foram fundamentais para a interoperabilidade entre sistemas geográficos. O WMS permite servir mapas; o WFS permite servir feições geográficas; o WCS permite acesso a coberturas; o CSW permite consulta a catálogos de metadados (OGC, 2006; OGC, 2010; OGC, 2012). Em plataformas públicas, esses padrões ajudam a evitar isolamento tecnológico e favorecem reutilização dos dados.

Tiles são outro elemento essencial para desempenho. Ao dividir mapas em pequenas unidades carregadas conforme a navegação, a plataforma reduz o volume de dados transmitidos e melhora a fluidez. Em WebSIGs modernos, tiles raster e vector tiles permitem visualizações rápidas e escaláveis. A renderização vetorial no navegador, apoiada por bibliotecas como MapLibre, permite que o usuário interaja de forma mais fluida com camadas e estilos.

Downloads completam essa camada. Um WebSIG público não deve apenas permitir visualização, mas também possibilitar o acesso aos dados em formatos reutilizáveis. Isso fortalece transparência, pesquisa, controle social e elaboração de políticas públicas. Downloads podem incluir arquivos vetoriais, tabelas, imagens, relatórios, mapas e metadados. A forma de disponibilização precisa respeitar licenças, privacidade, sensibilidade dos dados e capacidade dos usuários.

A camada de serviços transforma o WebSIG em plataforma. Sem ela, o sistema é apenas uma interface fechada. Com ela, torna-se infraestrutura reutilizável, interoperável e expansível. Essa é uma das diferenças fundamentais entre publicar mapas e construir inteligência territorial pública (figura 77).

Figura 77 - Camada de serviços do WEBSIG



10.6. Camada de interface: mapas, painéis, gráficos, filtros e narrativas

A camada de interface é o ponto de encontro entre usuário e sistema. Ela organiza a experiência de navegação, consulta, comparação e interpretação. Em um WebSIG do século XXI, a interface não pode ser tratada como etapa estética posterior ao desenvolvimento. Ela é parte da própria metodologia de democratização da geoinformação.

Lacerda demonstra que a reestruturação da UrbVerde incorporou princípios da Interação Humano-Computador, Design Thinking, Double Diamond, heurísticas de usabilidade, Gestalt, linguagem simples e humanismo de dados para melhorar usabilidade, clareza e engajamento dos usuários (LACERDA, 2025). Essa abordagem mostra que a interface é uma mediação entre dados complexos e interpretação pública.

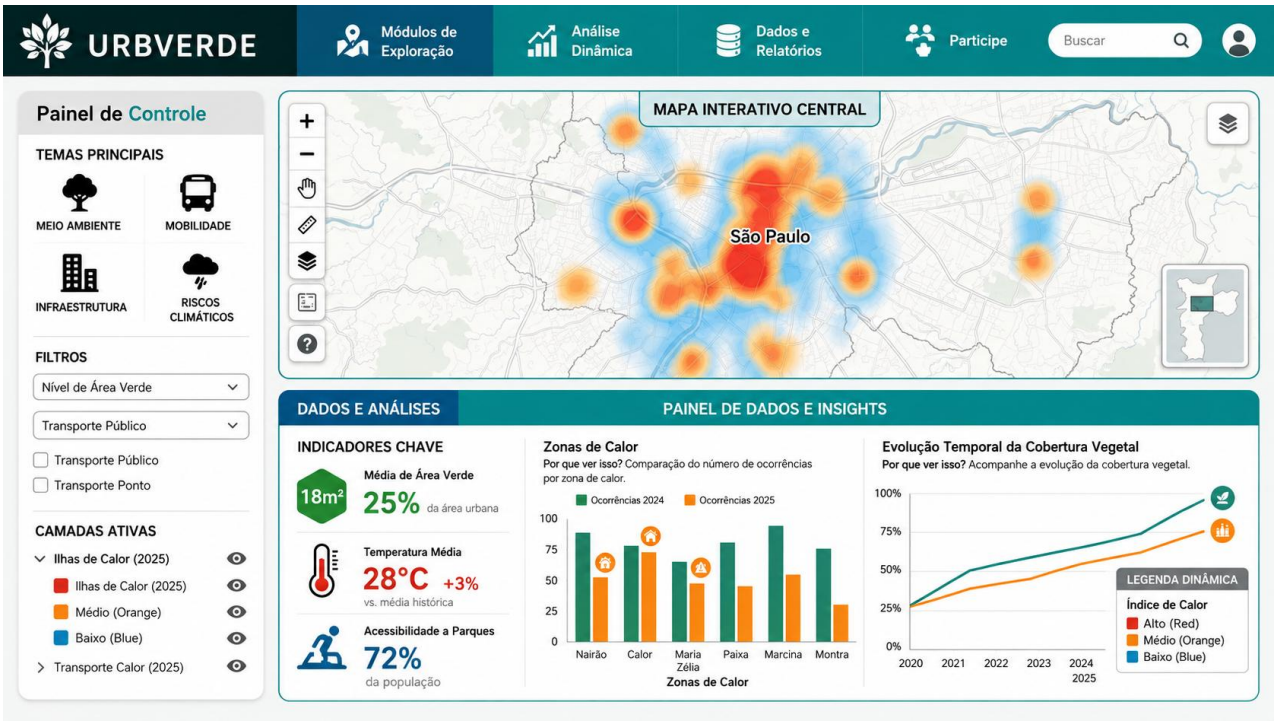
A interface deve combinar mapas, painéis, gráficos, filtros, legendas, textos explicativos e fluxos de navegação. O mapa mostra a distribuição espacial. O gráfico permite comparar valores. O painel organiza indicadores. O filtro permite selecionar temas, períodos ou recortes territoriais. A legenda explica classes. Os textos traduzem conceitos. A narrativa orienta a leitura. Cada elemento cumpre uma função.

A usabilidade é central. Nielsen propõe princípios como visibilidade do estado do sistema, correspondência com o mundo real, controle do usuário, consistência, prevenção de erros, reconhecimento em vez de memorização e estética minimalista (NIELSEN, 1994). Em WebSIGs, isso significa que o usuário precisa saber onde está, que camada está ativada, que indicador está visualizando, que unidade territorial está selecionada, que ações pode realizar e como retornar ou corrigir uma escolha.

A acessibilidade também é indispensável. Contraste adequado, tamanhos de fonte, navegação clara, compatibilidade com dispositivos, responsividade e cuidado com cores são condições para ampliar o público. Lacerda registra que o protótipo da UrbVerde considerou diretrizes do WCAG, especialmente contraste e tamanho das fontes, buscando maior acessibilidade e melhor adequação às necessidades visuais da plataforma (LACERDA, 2025).

A interface deve ainda evitar sobrecarga cognitiva. Um WebSIG pode possuir muitas camadas, mas não deve exibi-las de modo confuso. A informação precisa ser hierarquizada. O usuário deve ser conduzido por perguntas, temas, indicadores e níveis de aprofundamento. Uma plataforma pública deve permitir leitura rápida para usuários iniciantes e aprofundamento para usuários especializados (figura 78).

Figura 78 - Diagrama: interface síntese de interpretação: arquitetura para o usuário



10.7. Camada de interpretação: indicadores, textos explicativos e recomendações

A camada de interpretação é o que diferencia um WebSIG social de um simples visualizador de mapas. Ela transforma dados e visualizações em sentido. Indicadores, textos explicativos, descrições metodológicas, recomendações, exemplos de leitura e conexões com políticas públicas ajudam o usuário a compreender o que vê.

Um indicador não é apenas um número. Ele é uma mediação entre fenômeno e decisão. Percentual de Cobertura Vegetal, Temperatura de Superfície Terrestre, Índice de Cobertura Vegetal, Percentual de Impermeabilização do Solo ou distância a praças são formas de traduzir fenômenos complexos em medidas comparáveis. Mas cada indicador precisa ser explicado: o que mede, como foi calculado, que período representa, que escala possui, quais são seus limites e como pode ser usado.

Câmara, Monteiro e Medeiros alertam para o risco da reificação geográfica: usuários podem tomar estruturas computacionais pela realidade, sem consciência de suas limitações (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). A camada de interpretação combate esse risco. Ela explicita que mapas e indicadores são representações, não a totalidade do fenômeno. Explica que uma superfície de temperatura não é a experiência integral do calor urbano; que uma mancha de vegetação não resume a qualidade ecológica ou social da arborização; que um indicador de acesso não substitui a percepção cotidiana do espaço público.

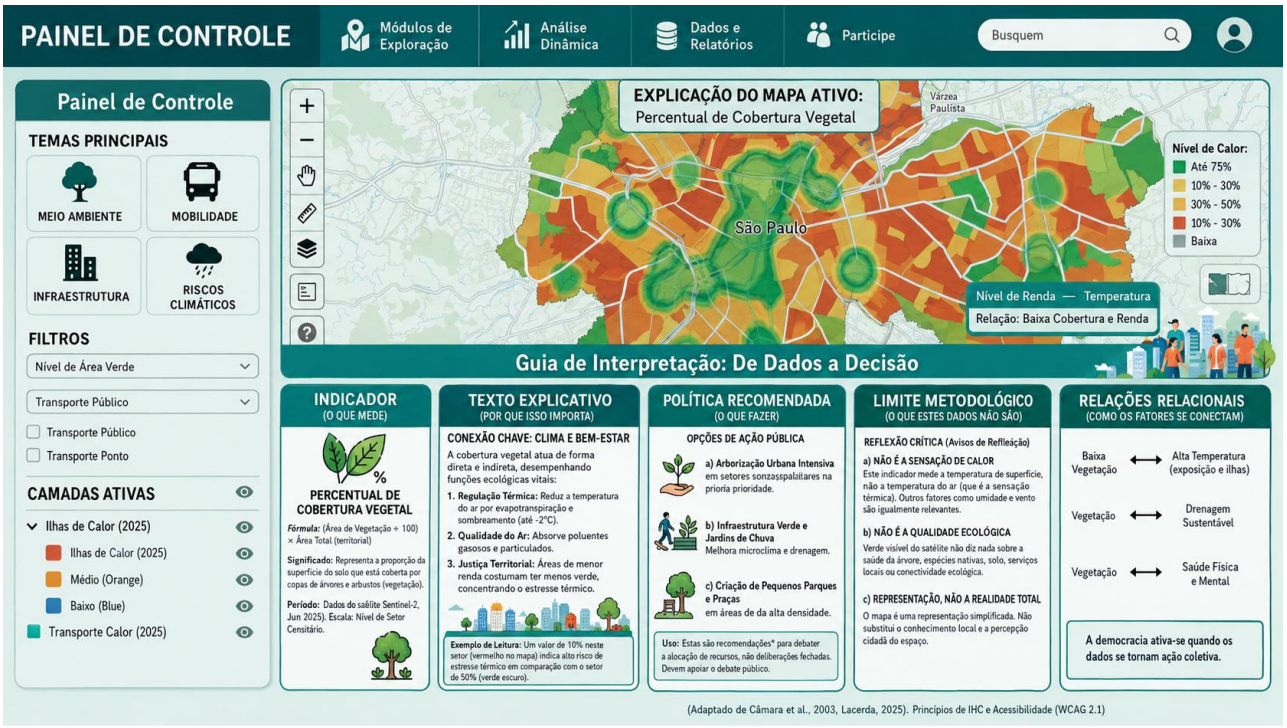
A interpretação também deve conectar indicadores entre si. O WebSIG do século XXI precisa ajudar o usuário a compreender relações: vegetação e temperatura; renda e exposição ao calor;

impermeabilização e drenagem; parques e população atendida; áreas verdes e justiça territorial. A inteligência territorial nasce da leitura relacional, não da visualização isolada de camadas.

Recomendações podem ter papel importante, desde que apresentadas com cautela. Uma plataforma pode indicar possíveis políticas associadas a determinado diagnóstico: arborização urbana, criação de praças, drenagem sustentável, infraestrutura verde, revisão de prioridades territoriais, proteção de fundos de vale, ampliação de áreas permeáveis. No entanto, recomendações não devem substituir deliberação pública. Elas devem apoiar o debate.

A camada de interpretação exige escrita, pedagogia e teoria. Dados não falam sozinhos. A plataforma precisa oferecer linguagem clara, mas conceitualmente rigorosa. A democratização da geoinformação depende dessa tradução entre método científico e leitura pública(figura 79).

Figura 79 - Diagrama: interface síntese de interpretação: indicador → texto → política recomendada → limite metodológico



10.8. Camada institucional: manutenção, governança, equipe e financiamento

Um WebSIG do século XXI não se sustenta apenas por código. Ele depende de uma camada institucional. Plataformas públicas exigem equipes, financiamento, governança, documentação, manutenção, atualização, suporte, comunicação e pactuação com usuários. Sem essa camada, mesmo uma boa plataforma pode se tornar obsoleta.

A manutenção é contínua. Bibliotecas são atualizadas, servidores exigem cuidado, bancos precisam de backup, APIs mudam, dados precisam ser recalculados, erros são corrigidos, usuários solicitam

melhorias. Um WebSIG público não é produto final; é infraestrutura viva. Sua qualidade depende de rotinas permanentes.

A governança define responsabilidades. Quem produz os dados? Quem valida? Quem publica? Quem responde por erros? Quem atualiza metadados? Quem decide incluir novas camadas? Quem prioriza demandas dos usuários? Quem garante continuidade financeira? Essas perguntas são tão importantes quanto a escolha de tecnologias.

A equipe precisa ser multidisciplinar. Um WebSIG social requer especialistas em geoinformação, desenvolvedores, designers, pesquisadores temáticos, gestores de dados, comunicadores, pedagogos, especialistas em políticas públicas e usuários parceiros. A experiência da UrbVerde mostra justamente essa necessidade de articular desenvolvimento computacional, dados socioambientais, IHC, políticas públicas e adaptação climática (LACERDA, 2025).

O financiamento é outro ponto crítico. Plataformas acadêmicas e públicas frequentemente dependem de projetos, bolsas e editais. Isso pode gerar descontinuidade. Um WebSIG orientado a políticas públicas precisa ser pensado como infraestrutura de longo prazo. Se a plataforma apoia decisões públicas, ela precisa de estabilidade institucional.

A documentação é parte dessa camada. Códigos, métodos, dados, fluxos, APIs, processos de atualização e decisões de projeto devem ser registrados. Sem documentação, a plataforma se torna dependente de pessoas específicas. Com documentação, torna-se mais sustentável, auditável e transferível.

10.9. Camada política: conexão com planos, metas, ações e monitoramento

A camada política conecta o WebSIG à ação pública. Sem ela, a plataforma pode produzir bons diagnósticos, mas permanecer distante da transformação territorial. Um WebSIG do século XXI precisa dialogar com planos, metas, indicadores de acompanhamento, ações, instrumentos normativos, orçamento e participação social.

No caso da UrbVerde, essa conexão é explícita. Lacerda registra que a plataforma se insere no contexto da crise climática e da necessidade de fortalecer políticas públicas e planejamento urbano para adaptação, fornecendo métricas e indicadores socioambientais essenciais para gestores e sociedade. O trabalho também relaciona a reestruturação da plataforma à implementação de novos painéis, como o Painel de Políticas Públicas no âmbito do projeto PPPP FAPESP (LACERDA, 2025).

Essa orientação é fundamental. O WebSIG não deve apenas responder "onde está o problema?", mas também "que política pode enfrentá-lo?", "que meta pode ser definida?", "como monitorar a mudança?", "quem é responsável?", "qual território deve ser priorizado?" e "como prestar contas à sociedade?". A passagem do diagnóstico à ação exige que indicadores sejam conectados a instrumentos de planejamento.

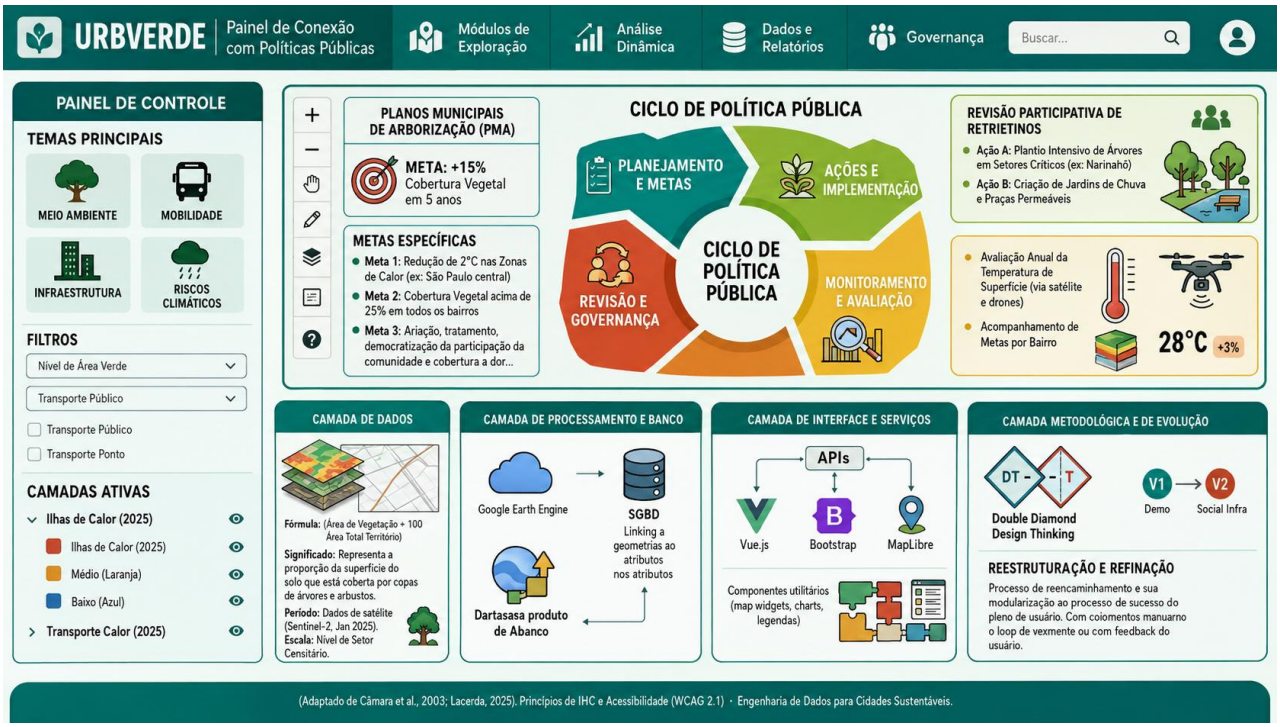
Planos climáticos, planos diretores, planos de arborização, planos de drenagem, planos de saneamento, políticas de parques e praças, programas de habitação e estratégias de adaptação podem se beneficiar de

WebSIGs. Mas essa integração precisa ser desenhada. A plataforma deve oferecer indicadores compatíveis com metas, recortes territoriais relevantes para gestão e visualizações que apoiem decisões.

A camada política também envolve controle social. Quando dados territoriais são públicos e compreensíveis, a sociedade pode cobrar prioridades, acompanhar ações e discutir desigualdades. A transparência espacial fortalece a democracia quando permite que cidadãos compreendam a distribuição territorial dos problemas e das políticas.

No entanto, o WebSIG não substitui a política. Ele informa, orienta, evidencia e monitora. A decisão continua sendo processo público, institucional e conflitivo. Um WebSIG crítico deve apoiar a deliberação, não mascará-la sob aparência técnica(figura 80).

Figura 80 - Diagrama: conexão com planos, metas, ações e monitoramento



10.10. A experiência UrbVerde como engenharia integrada

A UrbVerde permite visualizar a engenharia estrutural do WebSIG do século XXI em uma experiência concreta. A plataforma reúne dados socioambientais georreferenciados, processamento em nuvem, bancos de dados, renderização cartográfica, interface interativa, metodologias centradas no usuário e conexão com políticas públicas.

Na camada de dados, trabalha com informações raster e vetoriais, incluindo temperatura de superfície, vegetação, parques, praças, limites municipais e setores censitários. Na camada de processamento, utiliza computação em nuvem e Google Earth Engine para gerar dados em larga escala. Na camada de banco, organiza tabelas vetoriais em SGBD e adota estratégia dual de vinculação entre geometrias e atributos. Na camada de interface, utiliza MapLibre, Vue.js e Bootstrap, combinando mapas interativos,

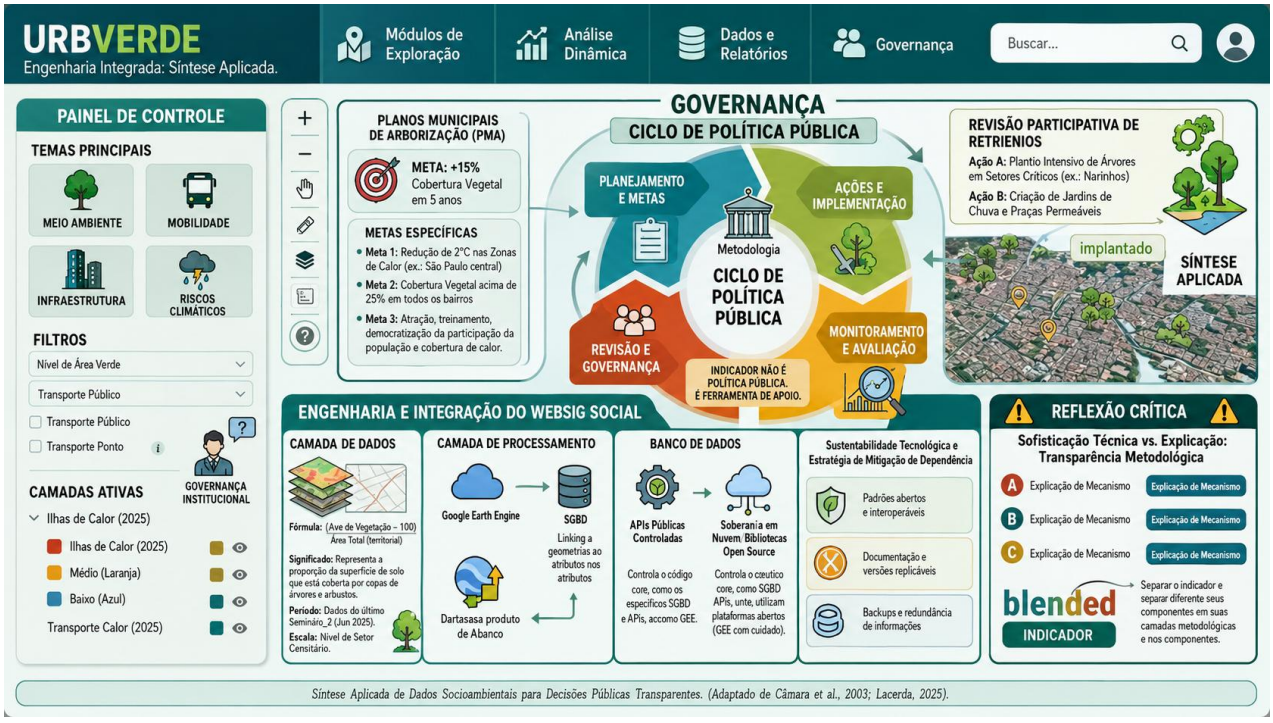
responsividade e componentes reutilizáveis. Na camada de serviços, desenvolve APIs para comunicação entre banco e interface. Na camada metodológica, mobiliza Design Thinking, Double Diamond e testes de usabilidade (LACERDA, 2025).

Essa integração mostra que o WebSIG social não nasce de uma única solução tecnológica. Ele depende de arquitetura. A plataforma precisa ser tecnicamente robusta, mas também compreensível; escalável, mas também situada; automatizada, mas também transparente; interativa, mas também interpretativa; pública, mas também governada.

A necessidade de reestruturação da UrbVerde evidencia outro ponto importante: plataformas evoluem. A primeira versão pode cumprir papel inicial de demonstração, mas a expansão para novos painéis, indicadores e públicos exige refatoração, modularização, documentação e melhoria da experiência do usuário. Lacerda registra que, para implementar o Painel de Políticas Públicas e garantir expansão futura, a equipe identificou a necessidade de reestruturação e refatoração total da plataforma, diante de desafios estruturais e funcionais no design e no código (LACERDA, 2025).

Esse aprendizado é valioso para outros WebSIGs. Muitas plataformas públicas fracassam porque são construídas como produtos pontuais, e não como infraestruturas. A experiência da UrbVerde sugere que um WebSIG precisa ser pensado desde o início para crescer, incorporar camadas, dialogar com usuários, sustentar manutenção e apoiar políticas(figura 81).

Figura 81 - A UrbVerde como engenharia integrada



10.11. Riscos da engenharia sem política

A engenharia estrutural do WebSIG pode produzir sistemas tecnicamente sofisticados e socialmente pouco relevantes se não estiver orientada por perguntas públicas. Há risco de tecnicismo quando a

plataforma se concentra em camadas, bancos, APIs e visualizações, mas não pergunta quem utilizará os dados, para que, em quais decisões e com que capacidade de interpretação.

Outro risco é a opacidade algorítmica. Processamentos em nuvem, modelos automáticos, classificações e indicadores podem gerar resultados difíceis de compreender. Quanto maior a sofisticação técnica, maior a necessidade de explicação. A transparência metodológica deve acompanhar a complexidade computacional.

Há também o risco da dependência de plataformas e bibliotecas externas. APIs, serviços de mapas, bibliotecas JavaScript, servidores e provedores de nuvem podem mudar regras, custos ou formas de acesso. Um WebSIG público precisa considerar sustentabilidade tecnológica e estratégias de mitigação de dependência.

O risco da fragmentação institucional também é significativo. Dados podem ser produzidos por uma equipe, processados por outra, publicados por outra e utilizados por gestores que não participaram da construção. Sem governança, a cadeia se rompe. A plataforma perde coerência.

Por fim, há o risco de confundir indicador com política. Um WebSIG pode mostrar a desigualdade, mas não a resolve. Pode indicar prioridades, mas não executa ações. Pode monitorar, mas não substitui orçamento, legislação, participação e gestão pública. A engenharia do WebSIG deve estar a serviço da política pública, e não se apresentar como substituta dela (quadro 10).

Quadro 10 - Tabela de Riscos: Engenharia de WebSIG Desconectada da Política Pública

Tipo de Risco	Descrição / Sintoma	Impacto no Ecossistema do WebSIG	Estratégia de Mitigação (Governança e IHC)
Tecnicismo	Foco excessivo em camadas, bancos de dados, APIs e estética visual, sem mapear as reais demandas, o perfil e a capacidade de interpretação do público-alvo.	Produção de sistemas tecnicamente sofisticados, porém vazios de relevância social e pouco utilizados nas decisões reais.	Orientar o desenvolvimento por **perguntas públicas**. Aplicar metodologias como *Design Thinking* e testes de usabilidade com cidadãos e gestores.
Opacidade Algorítmica	Processamentos em nuvem complexos, automatizações e classificações cujos critérios metodológicos ficam "escondidos" no código.	Resultados difíceis de compreender, gerando desconfiança ou interpretações errôneas por falta de clareza.	**Transparência metodológica**. Criar camadas de interpretação que expliquem de forma simples como o dado foi calculado, suas escalas e limites.
Dependência Tecnológica	Acoplamento rígido a bibliotecas externas, APIs de mapas pagas e provedores de nuvem proprietários de terceiros.	Vulnerabilidade a mudanças repentinas de regras comerciais, aumento de custos e risco de descontinuidade da plataforma pública.	Desenhar arquiteturas com foco em **sustentabilidade tecnológica**, priorizando ferramentas *open-source* (como MapLibre, Vue.js) e estratégias de mitigação.
Fragmentação Institutional	Falta de diálogo e fluxo estruturado entre as equipes que produzem o dado, as que processam, as que publicam e os gestores que decidem.	Quebra na cadeia de valor da informação. A plataforma perde coerência e os dados tornam-se obsoletos ou desalinhados da realidade.	Implementar modelos formais de **governança de dados**, integrando as secretarias e garantindo que quem decide participe ativamente da modelagem.
Reificação (Confundir Indicador com Política)	Tratar o mapa ou o indicador como a resolução do problema em si, e não como um diagnóstico de suporte.	Ilusão de progresso social. O sistema monitora e aponta a desigualdade, mas não executa o orçamento, a legislação ou as ações físicas.	Subordinar a engenharia do WebSIG ao **Ciclo de Políticas Públicas**. Deixar explícito na interface que os dados apoiam o debate, mas não substituem a deliberação pública.

Essa matriz demonstra que a robustez técnica de uma plataforma como a UrbVerde só atinge sua maturidade quando combinada com o humanismo de dados. Evitar que a tecnologia se torne um fim em si mesma é o que transforma um visualizador de mapas comum em uma infraestrutura social de inteligência territorial.

10.12. Considerações finais

A engenharia estrutural do WebSIG do século XXI exige visão sistêmica. Não basta escolher uma biblioteca de mapas, publicar camadas ou construir painéis visualmente atraentes. É necessário

organizar uma infraestrutura formada por dados, processamento, banco, serviços, interface, interpretação, governança institucional e conexão política.

Cada camada cumpre uma função específica: os dados definem a base empírica; o processamento transforma dados em informação; o banco garante organização e consulta; os serviços permitem interoperabilidade; a interface cria a experiência do usuário; a interpretação transforma visualização em sentido; a governança garante continuidade; e a camada política conecta o WebSIG a planos, metas, ações e monitoramento.

A experiência da UrbVerde mostra que essa engenharia é possível, mas exige rigor metodológico, escuta dos usuários e compromisso público. Em última instância, a engenharia estrutural do WebSIG é uma engenharia da mediação: sua finalidade não é apenas fazer mapas funcionarem na internet, mas construir condições para que diferentes sujeitos compreendam o território e participem de sua transformação.

Referências bibliográficas

CAIRO, Alberto. **The Truthful Art: Data, Charts, and Maps for Communication**. Berkeley: New Riders, 2016.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

DESIGN COUNCIL. **Framework for Innovation: Design Council's evolved Double Diamond**. Londres: Design Council, 2019.

GAMMA, Erich; HELM, Richard; JOHNSON, Ralph; VLISSIDES, John. **Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software**. Boston: Addison-Wesley, 1994.

GORELICK, Noel et al. **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone**. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017.

ISO. **ISO 19115-1:2014: Geographic information - Metadata - Part 1: Fundamentals**. Geneva: International Organization for Standardization, 2014.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

MAPLIBRE. **MapLibre GL JS Documentation**. MapLibre, 2025.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

NIELSEN, Jakob. **10 Usability Heuristics for User Interface Design**. Nielsen Norman Group, 1994.

OGC. **OpenGIS Web Map Service Implementation Specification**. Version 1.3.0. Wayland: Open Geospatial Consortium, 2006.

OGC. **OpenGIS Web Feature Service 2.0 Interface Standard**. Version 2.0. Wayland: Open Geospatial Consortium, 2010.

OGC. **OGC Catalogue Services 3.0 Specification**. Wayland: Open Geospatial Consortium, 2012.

PRESSMAN, Roger S.; MAXIM, Bruce R. **Software Engineering: A Practitioner's Approach**. 8. ed. New York: McGraw-Hill, 2016.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

TUFTE, Edward R. **The Visual Display of Quantitative Information**. 2. ed. Cheshire: Graphics Press, 2001.

W3C. **Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2**. World Wide Web Consortium, 2023.

Parte V - A UrbVerde como laboratório do WebSIG do século XXI

A Parte V deste livro desloca a reflexão do plano histórico, epistemológico e técnico para uma experiência concreta: a Plataforma UrbVerde. Ao longo dos capítulos anteriores, defendemos que o WebSIG do século XXI não pode ser compreendido apenas como um mapa interativo publicado na internet, nem como simples evolução tecnológica dos SIG tradicionais. Ele deve ser entendido como uma infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial, capaz de articular dados, métodos, interfaces, usuários, instituições e políticas públicas. A UrbVerde será tomada, nesta parte, como laboratório vivo dessa hipótese.

A escolha da UrbVerde não se deve apenas ao fato de ela ser uma plataforma digital de dados socioambientais. Sua importância está no modo como reúne, em uma mesma experiência, os principais desafios discutidos neste livro: a produção de indicadores georreferenciados, o uso de sensoriamento remoto e computação em nuvem, a organização de camadas ambientais e socioeconômicas, a tradução de dados técnicos para públicos não especializados, a conexão com educação territorial, a interface com gestores municipais e a orientação para políticas públicas de adaptação climática e redução das desigualdades. A plataforma contém informações e métricas socioambientais para os 645 municípios do Estado de São Paulo, permitindo análises espaço-temporais sobre temperatura, vegetação, parques e praças, e foi concebida para apoiar pesquisas, tomadas de decisão e gestão ambiental (COSTA et al., 2024).

A experiência da UrbVerde permite observar que o problema central do WebSIG contemporâneo não é apenas técnico. Produzir dados geoespaciais é indispensável, mas não suficiente. É preciso transformar esses dados em indicadores compreensíveis, os indicadores em visualizações legíveis, as visualizações em diagnósticos territoriais e os diagnósticos em instrumentos capazes de orientar políticas públicas. Essa passagem - do dado ao diagnóstico, do diagnóstico à ação, da ação ao monitoramento - é o que diferencia um WebSIG social de um simples visualizador de mapas. Como afirma o *Guia UrbVerde para Planos Locais de Ação Climática*, a plataforma deve apoiar a leitura do território, a definição de prioridades, a formulação de ações com metas e indicadores e a articulação com instrumentos de planejamento e orçamento já existentes (COSTA; FANTIN, 2026).

Nesse sentido, a UrbVerde radicaliza uma questão que atravessa toda a história dos SIG: como converter informação territorial em decisão pública? No Canadá dos anos 1960, o SIG nasceu como resposta à incapacidade de processar manualmente grandes volumes de informação sobre recursos naturais e uso da terra. No século XXI, a pergunta se transforma: como produzir, atualizar, comunicar e democratizar informações territoriais em sociedades urbanas desiguais, atravessadas por crise climática, vulnerabilidades socioambientais e disputas pelo uso do espaço? A UrbVerde não resolve integralmente essa questão, mas oferece um campo concreto para investigá-la.

A plataforma também permite retomar, em chave aplicada, a discussão epistemológica desenvolvida na Parte II. Câmara, Monteiro e Medeiros (2003) alertam que todo SIG carrega formas específicas de representação computacional do espaço e que os computadores não são instrumentos neutros, mas ferramentas de representação da realidade. A UrbVerde trabalha justamente nesse terreno: transforma temperatura, vegetação, impermeabilização, áreas verdes, parques, praças e variáveis socioeconômicas

em camadas, métricas, índices e indicadores. Ao fazê-lo, torna visíveis determinados aspectos do território, mas também exige cuidado metodológico para não confundir a representação com a totalidade dos processos socioespaciais.

Por isso, a leitura da UrbVerde como laboratório do WebSIG do século XXI precisa ser crítica. A plataforma não deve ser apresentada como solução mágica para o planejamento urbano ou climático. Ela é uma mediação. Seus mapas, indicadores e painéis ajudam a revelar desigualdades, orientar perguntas, apoiar diagnósticos e subsidiar decisões. Mas a interpretação do território continua exigindo teoria, trabalho de campo, conhecimento local, participação social, capacidade institucional e deliberação política. Um WebSIG social não substitui o planejamento; ele qualifica o planejamento.

A dimensão educativa da UrbVerde é um dos elementos centrais desta parte. A cartilha *UrbVerde na Escola* afirma que a plataforma promove uma transformação na forma como estudantes observam e interagem com o mundo à sua volta, tornando-os mais conscientes e ativos na concepção e preservação do meio ambiente (COSTA et al., 2024). Esse aspecto é fundamental porque mostra que a democratização da geoinformação não se realiza apenas pela abertura de dados. Ela depende de processos de formação, linguagem acessível, atividades pedagógicas, leitura crítica do território e apropriação social dos indicadores.

A UrbVerde também evidencia a importância da escala local. A crise climática é global, mas seus impactos são vividos em territórios concretos: bairros mais quentes, áreas com menor cobertura vegetal, populações expostas a riscos, ausência de praças, impermeabilização excessiva, drenagem insuficiente e desigualdade no acesso à infraestrutura verde. O *Guia UrbVerde para Planos Locais de Ação Climática* destaca que, na escala local, eventos extremos, riscos socioambientais e desigualdades territoriais exigem qualificar a leitura dos problemas socioterritoriais e aprimorar processos de tomada de decisão relacionados ao planejamento, à priorização de ações, aos investimentos públicos e à governança climática (COSTA; FANTIN, 2026).

Essa articulação entre escala local, dados e ação pública é fundamental. A UrbVerde não se limita à visualização de mapas ambientais. Ela procura construir uma ponte entre ciência, gestão municipal e sociedade civil. O projeto financiado pela FAPESP, no âmbito do Programa de Pesquisa em Políticas Públicas, envolveu parceria entre IAU-USP, Instituto Pólis, Consórcio Intermunicipal Grande ABC e Prefeitura Municipal de Diadema, combinando diagnósticos territoriais baseados em dados, oficinas, formações e processos de construção conjunta voltados à formulação de análises socioterritoriais e climáticas (COSTA; FANTIN, 2026).

A Parte V, portanto, analisará a UrbVerde em quatro movimentos. O primeiro movimento é apresentar a plataforma como experiência de construção de um WebSIG voltado à adaptação climática, à justiça socioambiental e à redução das desigualdades territoriais. Isso implica discutir sua origem, sua arquitetura geral, seus indicadores, suas categorias de análise, sua escala estadual e sua capacidade de produzir leitura intraurbana. A UrbVerde será compreendida como infraestrutura pública de dados, mas também como experimento metodológico de tradução da geoinformação para públicos diversos.

O segundo movimento é discutir o que aprendemos com a UrbVerde. A experiência mostra que dado sem interpretação não produz política pública; que interface é parte da metodologia; que linguagem

simples não significa simplificação conceitual; que usabilidade é condição de democratização; que a escuta dos usuários deve orientar o desenvolvimento; e que indicadores precisam dialogar com problemas reais de planejamento. Lacerda (2025) demonstra, a partir da reestruturação da plataforma, que a Interação Humano-Computador, o Design Thinking, o Double Diamond, as heurísticas de usabilidade, a linguagem simples e o humanismo de dados são elementos centrais para reduzir a barreira técnico-científica dos SIG e ampliar seu uso social.

O terceiro movimento será acompanhar a passagem **do dado à política pública**. Esse talvez seja o ponto mais importante desta parte. A UrbVerde permite discutir como um WebSIG pode deixar de ser apenas um ambiente de consulta e passar a subsidiar planos, agendas, metas, indicadores de monitoramento, ações e processos participativos. O *Guia UrbVerde* afirma que a plataforma contribui para tornar políticas públicas municipais mais aderentes às demandas reais da cidade e da população, qualificando ações, programas e projetos de forma integrada e transversal, ao mesmo tempo em que fortalece a participação social ao ampliar o acesso à informação (COSTA; FANTIN, 2026).

O quarto movimento será formular inferências para o WebSIG do século XXI a partir da UrbVerde. A plataforma será tratada como experiência em construção, não como modelo fechado. A partir dela, será possível discutir princípios mais amplos: o WebSIG precisa ser social, público, crítico, escalável, inteligível, metodologicamente transparente, conectado a políticas públicas e capaz de apoiar processos de monitoramento. Também precisa reconhecer seus limites: não substitui a política, não elimina conflitos, não captura a totalidade do território e não dispensa conhecimento local.

A expressão "do mapa à ação", presente no guia elaborado a partir da experiência da UrbVerde, sintetiza o horizonte desta parte. Ela indica que o mapa não deve ser o ponto final do processo, mas uma mediação dentro de uma cadeia maior. O mapa permite visualizar; o indicador permite comparar; o diagnóstico permite priorizar; a política pública permite agir; o monitoramento permite avaliar. O WebSIG do século XXI precisa estruturar essa cadeia de forma clara, acessível e socialmente útil (COSTA; FANTIN, 2026).

Essa cadeia também dialoga com Milton Santos. Se o espaço é composto por sistemas de objetos e sistemas de ações, como propõe Santos (1996), então o WebSIG não pode se limitar a representar objetos. Ele precisa ajudar a compreender ações, fluxos, desigualdades, políticas e processos. A UrbVerde se aproxima desse horizonte ao articular camadas ambientais, socioeconômicas e urbanísticas com perguntas de planejamento, adaptação climática e justiça socioambiental. Sua contribuição não está apenas em mostrar onde há vegetação, calor ou praças, mas em permitir perguntar quem tem acesso, quem está exposto, onde agir primeiro e como monitorar a transformação.

A UrbVerde também permite retomar a crítica à reificação geográfica. Seus indicadores não são o território; são representações construídas a partir de métodos, dados, escalas e escolhas analíticas. Por isso, uma plataforma pública precisa ser acompanhada de documentação, explicações, guias, oficinas, cartilhas e materiais pedagógicos. A democratização da geoinformação exige não apenas disponibilizar resultados, mas formar leitores críticos desses resultados. O WebSIG social precisa ensinar o usuário a perguntar, e não apenas a clicar.

A experiência com Diadema e o Grande ABC mostra a força dessa abordagem. O projeto não se limitou à produção de mapas, mas articulou diagnóstico socioterritorial, agenda climática, guia metodológico, painel de políticas públicas e processos de formação. Essa combinação indica que o WebSIG do século XXI deve funcionar como plataforma de apoio à governança territorial: reúne dados, organiza evidências, estrutura indicadores, favorece pactuações e fortalece a capacidade pública de monitorar ações. O objetivo não é apenas conhecer o território, mas qualificar sua transformação.

Ao mesmo tempo, a Parte V deve evitar qualquer tom celebratório excessivo. O aprendizado da UrbVerde também inclui desafios: manter a plataforma atualizada, garantir escalabilidade, ampliar a usabilidade, preservar rigor metodológico, dialogar com gestores de diferentes capacidades institucionais, incorporar novas camadas, evitar opacidade técnica, comunicar incertezas e sustentar financiamento e equipe ao longo do tempo. Esses desafios são constitutivos de qualquer WebSIG público. Eles reforçam a ideia de que o WebSIG do século XXI é uma infraestrutura viva, não um produto acabado.

A UrbVerde será analisada, portanto, como experiência concreta de mediação entre ciência e sociedade. Ela nasce no ambiente universitário, utiliza métodos de sensoriamento remoto, machine learning, cloud computing e programação em Google Earth Engine, mas procura se projetar para além do laboratório, chegando a escolas, municípios, gestores, conselhos, organizações sociais e políticas públicas (COSTA et al., 2024). Essa passagem da pesquisa para a ação é central para compreender seu papel no livro.

A Parte V defenderá, em síntese, que a UrbVerde é um laboratório porque permite testar, em escala real, a tese construída ao longo dos capítulos anteriores: o WebSIG do século XXI precisa articular técnica e política, dado e interpretação, interface e educação, diagnóstico e ação, universidade e gestão pública, ciência e cidadania. Em um contexto de crise climática e desigualdades urbanas profundas, a geoinformação só cumpre plenamente sua função social quando se converte em instrumento público de leitura crítica e transformação territorial (figura 82).

Figura 82 - UrbVerde como laboratório: cidade, dados, usuários, escolas, gestores, clima



Referências bibliográficas

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

COSTA, Marcela Fernandes da; FANTIN, Marcel (org.). **Do mapa à ação: Guia UrbVerde para Planos Locais de Ação Climática**. São Carlos: IAU/USP, 2026. DOI: 10.11606/9788566624588.

COSTA, Marcela Fernandes da et al. (org.). **UrbVerde na escola**. São Carlos: IAU/USP, 2024. DOI: 10.11606/9788566624427.

GORELICK, Noel et al. **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone**. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017.

IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

NORMAN, Donald A. **The Design of Everyday Things**. Revised and expanded edition. New York: Basic Books, 2013.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

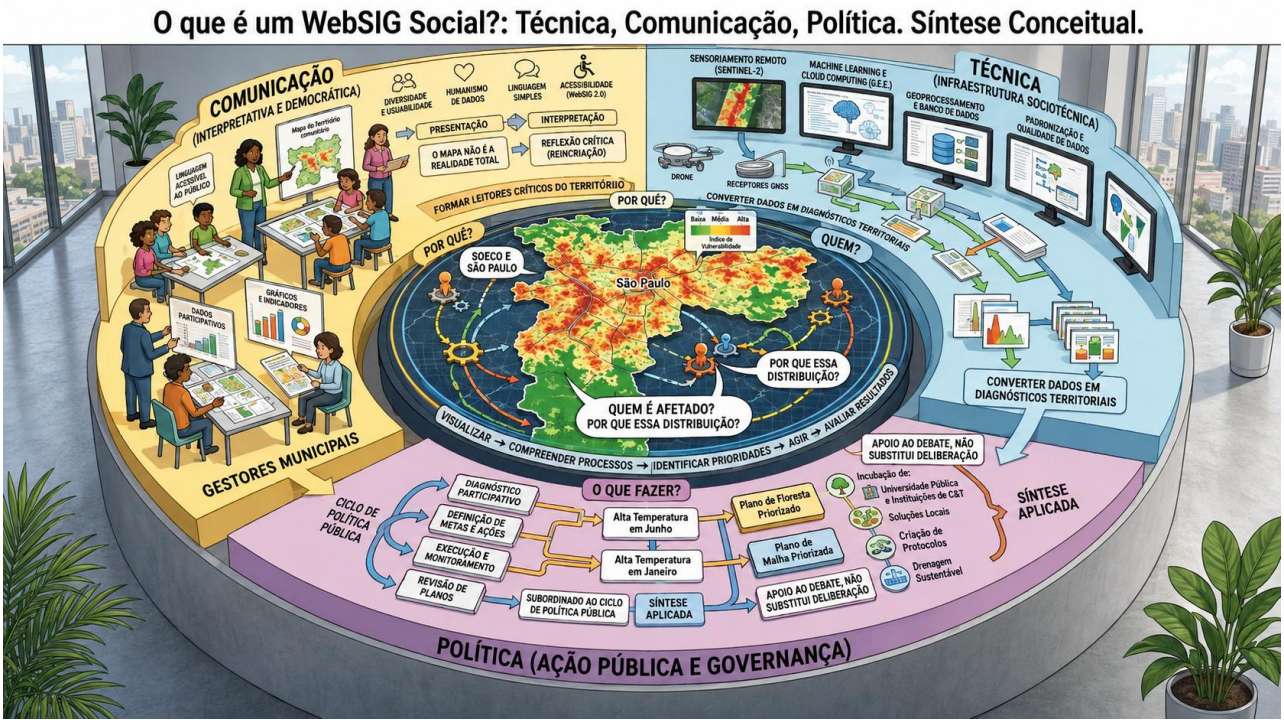
Capítulo 11 - O WebSIG social: geografia crítica, justiça territorial e políticas públicas

O WebSIG do século XXI precisa ser compreendido como mais do que uma infraestrutura digital de visualização de dados espaciais. Ele deve ser pensado como uma tecnologia pública de interpretação territorial, capaz de tornar visíveis desigualdades, riscos, conflitos, ausências, vulnerabilidades e possibilidades de ação. Isso significa deslocar o WebSIG de uma lógica meramente cartográfica para uma lógica social, crítica e política. Um WebSIG social não se limita a mostrar onde estão os fenômenos; ele deve ajudar a compreender **por que** eles se distribuem de determinada maneira, **quem** é afetado por essa distribuição e **que políticas públicas** podem responder a esses problemas.

Essa perspectiva parte de uma premissa central da Geografia Crítica: o espaço não é uma superfície neutra onde objetos e fenômenos se localizam. Ele é uma produção social, histórica, técnica, econômica e política. Em Milton Santos, o espaço geográfico é compreendido como um conjunto indissociável de sistemas de objetos e sistemas de ações. Os objetos - ruas, edifícios, redes, parques, rios, infraestruturas, sensores, plataformas digitais - só ganham sentido quando articulados às ações, normas, práticas, fluxos, decisões e usos sociais que os animam (SANTOS, 1996). Essa formulação permite pensar o WebSIG social: não basta representar objetos espaciais; é preciso relacioná-los aos processos que os produzem.

Câmara, Monteiro e Medeiros afirmam que a Ciência da Geoinformação precisa enfrentar os limites das representações computacionais do espaço. Para os autores, os SIG tradicionais continuam fortemente baseados em uma lógica cartográfica, capaz de representar formas, superfícies, unidades e redes, mas ainda limitada para representar processos, ações, fluxos e relações sociais (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). O WebSIG social nasce justamente desse desafio: como construir plataformas que não apenas mapeiem o território, mas ajudem a interpretar os processos socioespaciais que o constituem? (figura 83)

Figura 83 - Sintese conceitual: o que é um WebSIG social? Técnica, comunicação e política



11.1. O que significa falar em WebSIG social?

Falar em WebSIG social não significa apenas incluir variáveis sociais em uma plataforma cartográfica. Também não significa apenas disponibilizar dados públicos em mapas interativos. Um WebSIG social é aquele que reconhece que a informação geográfica tem implicações sociais e políticas, e que sua organização deve estar orientada à compreensão crítica do território. Seu objetivo não é apenas representar o espaço, mas contribuir para a leitura pública dos processos que produzem desigualdades, riscos e possibilidades de transformação.

Essa distinção é importante. Um WebSIG pode conter dados de renda, raça, infraestrutura, vegetação, temperatura, mobilidade e risco ambiental, mas ainda assim permanecer tecnocrático se esses dados forem apresentados como camadas isoladas, sem interpretação, sem contexto e sem conexão com políticas públicas. O caráter social do WebSIG não está apenas no tema dos dados, mas no modo como a plataforma estrutura relações, explicações, perguntas e usos.

A noção de WebSIG social também se aproxima da ideia de democratização da geoinformação. Lacerda argumenta que a aplicação de princípios de Interação Humano-Computador aos SIG pode contribuir para superar a barreira técnico-científica que historicamente restringiu o uso de dados geoespaciais a especialistas (LACERDA, 2025). Essa superação é condição fundamental para o WebSIG social: se a plataforma só é compreendida por técnicos, ela não produz inteligência territorial pública.

Nesse sentido, o WebSIG social deve articular três dimensões. A primeira é a dimensão técnica: dados confiáveis, métodos robustos, processamento adequado, bancos espaciais e visualizações consistentes.

A segunda é a dimensão comunicacional: linguagem simples, usabilidade, acessibilidade, explicação dos indicadores e interfaces centradas no usuário. A terceira é a dimensão política: conexão com problemas públicos, planejamento, participação social, justiça territorial e monitoramento de políticas.

11.2. Geografia crítica e representação computacional do espaço

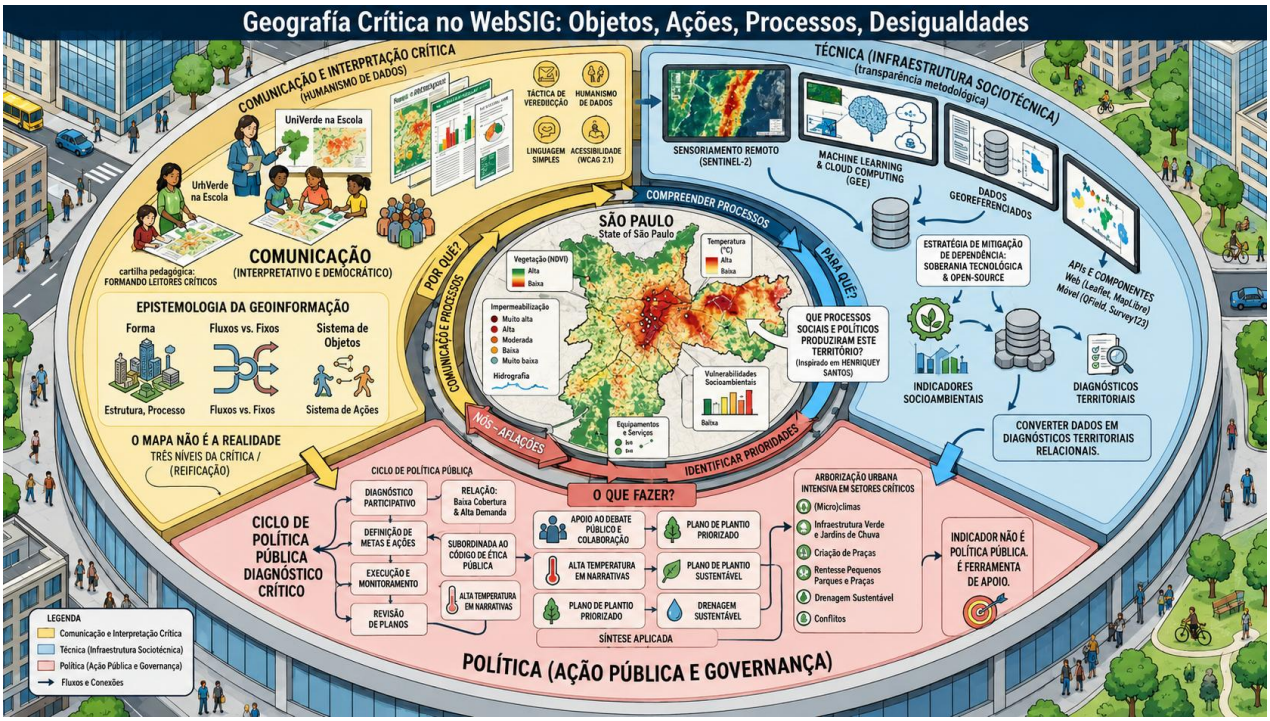
A Geografia Crítica contribui para deslocar o centro da análise espacial. Em vez de perguntar apenas onde os fenômenos estão localizados, ela pergunta quais processos sociais, econômicos, políticos e históricos produzem essas localizações. A desigualdade territorial não é um acidente geométrico; ela resulta de processos de urbanização, segregação, mercado fundiário, ação seletiva do Estado, investimentos desiguais em infraestrutura, desigual distribuição de equipamentos públicos e formas históricas de apropriação do território (HARVEY, 1980; SANTOS, 1978; SANTOS, 1996).

Essa perspectiva desafia os SIG tradicionais. A representação por pontos, linhas, polígonos, grades e redes é essencial, mas insuficiente. Um polígono pode delimitar uma favela, um bairro, uma área de risco ou um parque; uma grade pode representar temperatura de superfície; uma linha pode representar uma via ou um curso d'água; um ponto pode representar uma escola ou uma unidade de saúde. No entanto, essas representações não explicam, por si mesmas, os processos que produziram essas formas espaciais.

Câmara, Monteiro e Medeiros observam que os conceitos de Milton Santos - forma, função, estrutura e processo; fixos e fluxos; sistema de objetos e sistema de ações - são fundamentais para pensar uma epistemologia da geoinformação (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). Esses conceitos mostram que a realidade geográfica não se reduz à forma. Uma mesma forma pode cumprir funções distintas; uma infraestrutura pode produzir efeitos diferentes conforme o uso social; um objeto técnico pode reforçar desigualdades ou ampliar direitos, dependendo das ações e políticas que o mobilizam.

O WebSIG social precisa, portanto, combinar representação espacial e interpretação crítica. Ele deve mostrar a forma, mas também indicar relações. Deve representar objetos, mas também sugerir processos. Deve mapear indicadores, mas também ajudar a formular perguntas: por que determinada área é mais quente? Por que a cobertura vegetal é menor em certos bairros? Por que algumas populações estão mais distantes de parques e praças? Que políticas produziram ou poderiam enfrentar esse quadro? (figura 84)

Figura 84 - Geografia crítica no WebSIG: objetos, ações, processos, desigualdades



11.3. Justiça territorial e desigualdade socioambiental

A noção de justiça territorial permite aproximar geoinformação e política pública. Ela parte do reconhecimento de que recursos, riscos, infraestruturas, serviços e oportunidades não se distribuem de forma neutra no espaço. Ao contrário, a distribuição territorial de áreas verdes, saneamento, transporte, equipamentos públicos, moradia adequada, conforto térmico, drenagem e exposição a riscos expressa relações históricas de desigualdade.

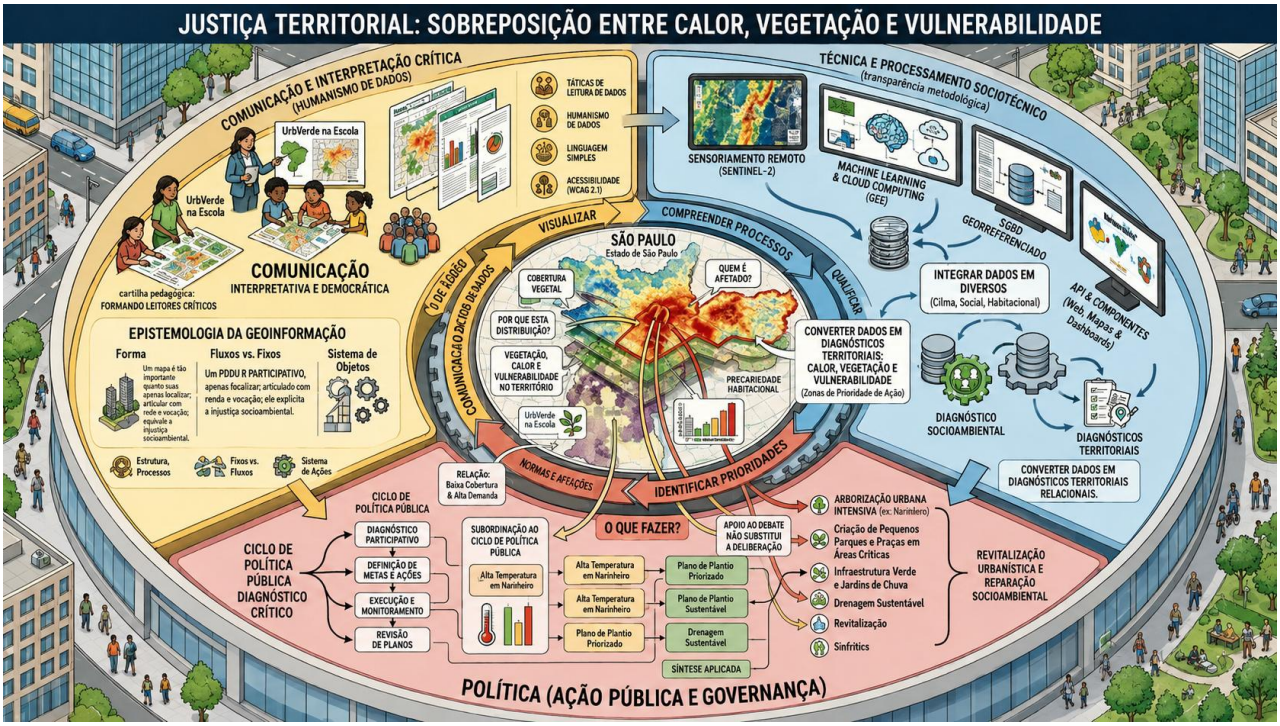
A justiça ambiental, por sua vez, evidencia que populações vulnerabilizadas tendem a sofrer de maneira desproporcional os efeitos negativos da degradação ambiental, da poluição, dos riscos e da ausência de infraestrutura (ACSELRAD; MELLO; BEZERRA, 2009). No contexto urbano, essa perspectiva é fundamental para compreender ilhas de calor, enchentes, ausência de arborização, déficit de áreas verdes, precariedade habitacional e exposição a eventos extremos. O problema não é apenas ambiental; é socioambiental.

O WebSIG social deve ser capaz de tornar essas desigualdades visíveis. Um mapa de temperatura de superfície, isoladamente, pode indicar áreas mais quentes. Mas, quando articulado a dados de renda, cobertura vegetal, densidade populacional, impermeabilização e acesso a praças, ele passa a revelar desigualdades socioambientais. A informação espacial torna-se, assim, instrumento para identificar injustiças territoriais e subsidiar políticas de reparação e adaptação.

Harvey argumenta que a justiça social possui uma dimensão espacial, pois a organização do território interfere diretamente no acesso a recursos, oportunidades e condições de vida (HARVEY, 1980). Essa formulação dialoga com o WebSIG social: se a desigualdade se expressa territorialmente, sua compreensão exige instrumentos espaciais. Mas esses instrumentos precisam estar orientados por uma perspectiva crítica, e não apenas por uma lógica de eficiência administrativa.

A UrbVerde se insere nesse debate ao organizar indicadores socioambientais voltados à adaptação climática e à redução das desigualdades territoriais. A plataforma permite relacionar vegetação, temperatura, parques, praças e outros indicadores urbanos, oferecendo subsídios para diagnosticar desigualdades e orientar políticas públicas (LACERDA, 2025). O potencial social do WebSIG está exatamente nessa capacidade de tornar visíveis padrões que, muitas vezes, permanecem naturalizados (figura 85).

Figura 85 - Justiça territorial: sobreposição entre calor, vegetação e vulnerabilidade



11.4. Clima urbano, vulnerabilidade e adaptação

A crise climática torna o WebSIG social ainda mais necessário. As cidades concentram populações, infraestruturas e desigualdades, ao mesmo tempo em que são territórios centrais para ações de adaptação e mitigação. Eventos extremos, ondas de calor, enchentes, secas, deslizamentos, perda de vegetação e aumento da impermeabilização afetam de maneira desigual grupos sociais e territórios urbanos (IPCC, 2023).

No caso das ilhas de calor, a dimensão socioespacial é evidente. Áreas com menor cobertura vegetal, maior impermeabilização, maior densidade construtiva e menor acesso a espaços livres tendem a registrar temperaturas mais elevadas. No entanto, a exposição ao calor não é apenas uma condição física. Ela se relaciona à renda, à qualidade da moradia, ao acesso à sombra, à arborização, à infraestrutura urbana, à saúde e à capacidade de adaptação das populações.

Um WebSIG social deve permitir que o clima urbano seja analisado de forma integrada. Não basta apresentar uma camada de temperatura de superfície. É preciso relacioná-la à cobertura vegetal, à impermeabilização do solo, ao acesso a parques e praças, à densidade populacional e à vulnerabilidade social. Essa integração permite compreender a adaptação climática como questão de justiça territorial.

O IPCC destaca que a adaptação climática eficaz depende de informações locais, governança, participação, capacidade institucional e consideração das desigualdades sociais (IPCC, 2023). O WebSIG social pode contribuir para esse processo ao produzir diagnósticos territorializados, identificar áreas prioritárias, apoiar metas de arborização, subsidiar políticas de infraestrutura verde e acompanhar ações públicas.

A UrbVerde é relevante nesse contexto porque transforma dados ambientais e urbanos em indicadores acessíveis para todos os municípios paulistas. Ao fazer isso, permite que gestores, professores, estudantes e cidadãos compreendam a crise climática em escala local. A mudança climática deixa de ser abstração global e passa a ser lida no bairro, na praça, na rua, na temperatura de superfície, na ausência de vegetação e no acesso desigual a áreas verdes (quadro 11).

Quadro 11 - Tabela de Síntese Climática: Clima Urbano e Vulnerabilidade

Dimensão (IPCC)	Fenômeno / Variável Urbana	Indicadores Georreferenciados (Ex: UrbVerde)	Expressão da Desigualdade Territorial	Conexão com Políticas Públicas e Metas
EXPOSIÇÃO	**Ilhas de Calor Urbanas e Estresse Térmico**	• Temperatura de Superfície Terrestre (TST) • Índice de Cobertura Vegetal (ICV) por setor	Concentração de temperaturas elevadas em bairros densamente construídos, sem vegetação e com alta absorção de radiação solar.	• **Arborização Urbana Intensiva** em setores críticos. • Estabelecer metas de redução de até 2°C na TST local por meio de sombreamento.
EXPOSIÇÃO	**Alteração do Ciclo Hidrológico (Enchentes/Enxurradas)**	• Percentual de Impermeabilização do Solo • Mapeamento de Topografia e Fundos de Vale	Escoamento superficial crítico concentrado em áreas periféricas pavimentadas ou fundos de vale ocupados por subabitações.	• **Infraestrutura Verde e Jardins de Chuva**. • Metas de ampliação de áreas permeáveis em calçadas e pátios públicos.
SENSIBILIDADE	**Vulnerabilidade Socioeconômica e Demográfica**	• Renda Média Mensal (Setor Censitário) • Densidade Populacional e Faixa Etária (Idosos/Crianças)	Populações de baixa renda e grupos biologicamente vulneráveis habitando as áreas de maior estresse térmico e ambiental.	• **Justiça Territorial**: Priorização de orçamento climático para Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS). • Planos de contingência de saúde para ondas de calor.
SENSIBILIDADE	**Precariedade Habitacional e Construtiva**	• Tipologia construtiva (materiais de cobertura) • Índice de Adensamento Construtivo	Habitações com inadequação térmica (telhas metálicas/fibrocimento, ausência de ventilação) que amplificam a experiência interna do calor.	• **Programas de Melhoria Habitacional**: Incentivo a telhados verdes, pinturas reflexivas e ventilação cruzada. • Revisão de índices do PD.
CAPACIDADE ADAPTATIVA	**Déficit de Infraestrutura Verde e Lazer**	• Distância caminhável a Parques e Praças (m) • Área verde pública por habitante (m2/hab)	Periferias e bairros autoconstruídos segregados do acesso a espaços públicos de lazer, microclimas estáveis e refúgios climáticos.	• **Criação de Pequenos Parques Urbanos (*Pocket Parks*)** e microrreservas urbanas. • Meta de garantir áreas verdes a menos de 15 minutos caminháveis de cada residência.
CAPACIDADE ADAPTATIVA	**Governança Climática e Inteligência Territorial**	• Uso ativo de ferramentas de WebSIG local • Existência de Planos de Ação Climática municipais	Assimetria técnica e informacional; pequenos municípios sem corpo técnico ou dados locais para planejar a adaptação.	• **Democratização da Geoinformação**: Capacitação de gestores, inserção do WebSIG nas escolas e promoção de orçamentos participativos climáticos.

11.5. O WebSIG como instrumento de política pública

O WebSIG social deve estar conectado a políticas públicas. Sem essa conexão, ele corre o risco de permanecer no plano do diagnóstico. Mapas e indicadores são importantes, mas sua função pública se realiza quando ajudam a definir prioridades, formular metas, orientar investimentos, acompanhar ações e prestar contas à sociedade.

Essa conexão exige que os indicadores sejam pensados em relação a instrumentos de planejamento. Planos diretores, planos climáticos, planos de arborização, planos de drenagem, políticas habitacionais, programas de parques e praças, planos de mobilidade e estratégias de redução de riscos podem se beneficiar de plataformas WebSIG. Mas, para isso, os dados precisam dialogar com os recortes, prazos, metas e responsabilidades desses instrumentos.

O WebSIG pode apoiar diferentes etapas do ciclo de políticas públicas. Na etapa de diagnóstico, permite identificar problemas e desigualdades territoriais. Na etapa de formulação, ajuda a definir objetivos, metas e áreas prioritárias. Na etapa de implementação, pode orientar ações e investimentos. Na etapa de monitoramento, permite acompanhar mudanças ao longo do tempo. Na etapa de avaliação, oferece evidências para verificar se as políticas produziram efeitos territoriais.

Essa perspectiva aproxima o WebSIG da ideia de governança territorial. A plataforma não é apenas repositório de dados; ela pode funcionar como espaço de articulação entre universidade, gestão pública, sociedade civil e comunidades locais. Ao tornar a informação territorial mais acessível, favorece processos de participação e controle social. A transparência espacial pode fortalecer a democracia quando permite que diferentes sujeitos compreendam a distribuição dos problemas e das ações públicas.

No entanto, é preciso evitar o tecnocratismo. O WebSIG apoia políticas, mas não substitui a política. Ele pode indicar áreas prioritárias, mas a decisão sobre investimentos envolve orçamento, conflito, deliberação e responsabilidade institucional. Ele pode revelar desigualdades, mas enfrentá-las exige ação pública. O WebSIG social deve ser compreendido como instrumento de mediação, não como máquina automática de decisão (figura 86).

Figura 86 - WebSIG no ciclo de políticas públicas



11.6. Indicadores como mediações políticas

Indicadores são elementos centrais do WebSIG social. Eles traduzem fenômenos complexos em medidas comparáveis. Percentual de Cobertura Vegetal, Índice de Cobertura Vegetal, Temperatura de Superfície Terrestre, Percentual de Impermeabilização do Solo, distância média a praças, população atendida por áreas verdes e índices de desigualdade socioambiental são exemplos de métricas que permitem transformar dados geográficos em leitura territorial.

Mas indicadores não são neutros. Eles resultam de escolhas metodológicas: que dados usar, que escala adotar, que período considerar, que fórmula aplicar, que unidade territorial utilizar, que classificação apresentar e que limiares definir. Por isso, Jannuzzi afirma que indicadores sociais são recursos metodológicos que informam sobre aspectos da realidade social, mas sua utilidade depende da aderência ao conceito que pretendem representar e ao uso em políticas públicas (JANNUZZI, 2005).

No WebSIG social, indicadores devem ser tratados como mediações políticas. Eles não apenas descrevem o território; ajudam a definir problemas públicos. Ao medir distância a praças, por exemplo, a plataforma sugere que acesso a espaços livres é uma questão relevante. Ao medir cobertura vegetal por habitante, indica que vegetação urbana pode ser lida como infraestrutura de justiça ambiental. Ao medir temperatura de superfície, chama atenção para o calor urbano como problema territorial e de saúde pública.

Essa dimensão política exige transparência. O usuário precisa compreender o que o indicador mede e o que não mede. Uma área com alta cobertura vegetal pode não ter bom acesso público a áreas verdes. Uma praça pode existir formalmente, mas ser pouco usada por falta de manutenção, segurança ou acessibilidade. Uma temperatura de superfície elevada pode indicar exposição térmica, mas não substitui dados de sensação térmica, saúde ou condições habitacionais. O indicador orienta a leitura, mas não esgota o fenômeno.

O WebSIG social deve, portanto, apresentar indicadores com explicações, notas metodológicas, limitações e exemplos de interpretação. A clareza dos indicadores é condição para sua apropriação pública. Sem isso, há risco de reificação: o usuário toma o número como realidade total, esquecendo que ele é uma representação parcial (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003) (quadro 12).

Quadro 12 - Tabela de Indicadores como Mediações Políticas

Indicador Socioambiental	Pergunta Pública (O que ele problematiza?)	Uso Possível (Ação e Decisão)	Limite Metodológico (O que ele NÃO mede?)
Temperatura de Superfície Terrestre (TST)	Quais bairros sofrem mais com o estresse térmico e onde o calor urbano deve ser tratado como uma emergência de saúde pública?	Direcionar e priorizar florestamento urbano, criação de refúgios climáticos e planos de contingência para ondas de calor.	Não substitui a **sensação térmica real** do pedestre (influenciada por umidade e vento) e ignora a precariedade térmica do interior das moradias.
Percentual / Índice de Cobertura Vegetal (ICV)	A infraestrutura verde está distribuída de forma justa no território ou virou um privilégio ambiental das zonas de alta renda?	Estabelecer metas espaciais obrigatórias em Planos Diretores e Planos Municipais de Arborização, com foco em equidade.	Uma mancha verde no satélite **não revela a qualidade ecológica** da árvore, se a espécie é nativa/exótica, ou se o espaço é seguro e caminhável.
Distância Média a Praças e Parques	O direito ao lazer e ao contato com a natureza está acessível a pé para todos os cidadãos ou está espacialmente segregado?	Identificar vazios urbanos para a desapropriação e implantação de pequenos parques (*pocket parks*) a menos de 15 minutos das residências.	A proximidade geométrica **não garante o uso real**. O indicador não mede a qualidade dos equipamentos, acessibilidade física, iluminação ou segurança.
Percentual de Impermeabilização do Solo	Onde o crescimento urbano sufocou a capacidade de absorção da terra, transformando a chuva em risco crônico de enxurradas?	Orientar a instalação de calçadas verdes, jardins de chuva e definir zonas de restrição de pavimentação em áreas de recarga.	Não substitui a modelagem hidrológica complexa de bacias e **ignora a eficiência ou capacidade da rede de drenagem subterrânea** já existente.
Índice de Desigualdade Socioambiental (Sintético)	Como a vulnerabilidade socioeconômica e a degradação ambiental se retroalimentam para penalizar as populações historicamente marginalizadas?	Delimitar perímetros de intervenção prioritária para aplicação de fundos climáticos, mitigando o racismo ambiental com critérios de equidade.	Por ser uma média estatística agregada (ex: por setor censitário), **pode camuflar realidades extremas** dentro de uma mesma mancha e silenciar a percepção cotidiana do morador.

11.7. Participação social, ciência cidadã e conhecimento local

Um WebSIG social deve reconhecer que a produção de inteligência territorial não é monopólio de especialistas. Moradores, estudantes, professores, movimentos sociais, técnicos municipais e organizações locais produzem conhecimento sobre o território. Eles conhecem áreas de alagamento, trajetos cotidianos, praças abandonadas, árvores suprimidas, ilhas de calor vividas no corpo, conflitos de uso, barreiras urbanas e demandas de infraestrutura.

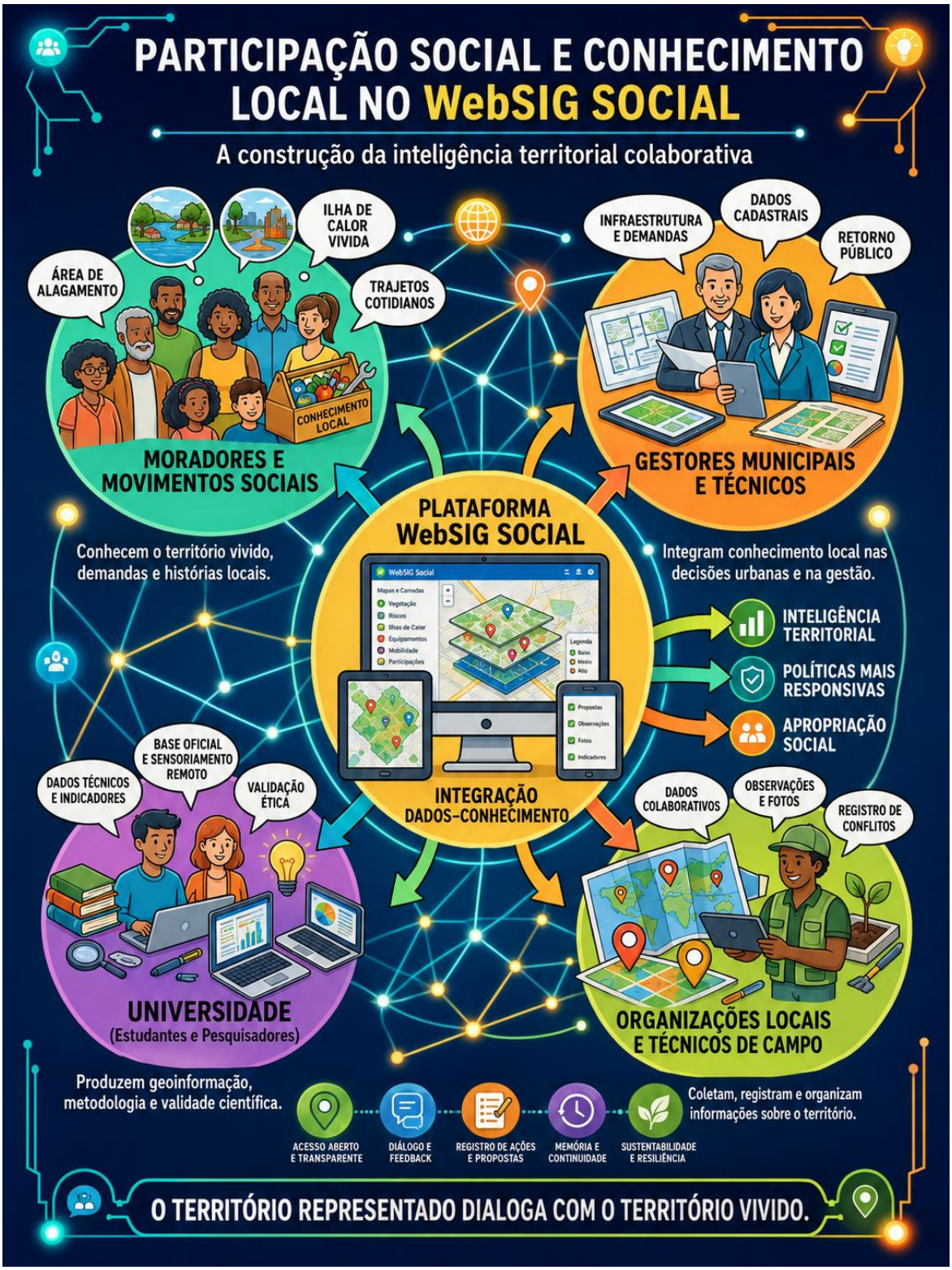
A literatura sobre *Volunteered Geographic Information* mostra que cidadãos podem atuar como produtores de informação geográfica, contribuindo com dados, observações e registros espaciais (GOODCHILD, 2007). Essa perspectiva amplia o campo da geoinformação, pois reconhece que informações produzidas por usuários podem complementar bases oficiais, revelar problemas invisíveis e fortalecer participação social.

No entanto, a participação precisa ser tratada com cuidado. Dados colaborativos podem ser desiguais, incompletos, enviesados ou concentrados em territórios com maior conectividade. Também envolvem questões de privacidade, validação, ética e governança. Um WebSIG social não deve simplesmente coletar dados dos usuários; deve construir processos responsáveis de participação, com retorno público, transparência e respeito aos sujeitos envolvidos (ELWOOD; GOODCHILD; SUI, 2012).

O conhecimento local é especialmente importante para interpretar indicadores. Uma camada pode mostrar baixa cobertura vegetal, mas moradores podem explicar a história das remoções de árvores, a ausência de manutenção, a insegurança em uma praça ou a existência de áreas verdes privadas sem acesso público. Um mapa pode mostrar risco de inundação, mas moradores conhecem a frequência, a intensidade e os impactos concretos das enchentes.

A integração entre dados técnicos e conhecimento local fortalece o WebSIG social. Ela evita que a plataforma se torne tecnocrática e aproxima a geoinformação da vida cotidiana. O território representado deve dialogar com o território vivido (figura 87).

Figura 87 - Participação social e conhecimento local



Quadro síntese da figura 87 - Matriz Operacional: O que o Satélite Vê vs. O que o Corpo Sente

Camada Técnica (Objeto)	Conhecimento Local (Ação/Processo)	Solução na Política Pública	Ícones de Fluxo
Mapeamento de Baixa Cobertura Vegetal	Moradores relatam histórico de desmatamento local e falta de manutenção.	**Plano de Arborização Adensada** com prioridade absoluta nas periferias.	
Mancha Térmica / Ilha de Calor (TST)	Usuários indicam pontos de ônibus sem cobertura e asfalto excessivo no bairro.	**Instalação de Abrigos Climáticos** e corredores verdes para pedestres.	
Polígono de Risco de Inundação	Comunidade define a velocidade real do alagamento e as rotas seguras de fuga.	**Implantação de Jardins de Chuva** e bacias de retenção natural.	
Ponto Oficial: "Equipamento Público"	Relatos apontam que a praça está vandalizada, escura ou inacessível a cadeirantes.	**Reforma Urbana Integrada** focada em acessibilidade, iluminação e zeladoria.	

Diretrizes de Governança e Salvaguardas Críticas

Notas de Cautela Metodológica:

1. **Privacidade Absoluta:** Anonimização e proteção de dados sensíveis dos moradores para evitar represálias em áreas de forte conflito fundiário ou vulnerabilidade.
2. **Mitigação de Vieses Exclusivos:** Realização de oficinas presenciais e mutirões pedagógicos (*UrbVerde na Escola*), garantindo que a falta de conectividade digital não silencie os bairros mais precários.
3. **Retorno Social Mandatório:** A coleta de dados comunitários não pode ser extrativista. O dado gerado pelo cidadão deve se traduzir em ferramentas de auditoria e fiscalização do próprio orçamento público.

Diretriz Central: A inteligência territorial do WebSIG do século XXI nasce quando o território representado pelos satélites (fixos) escuta, valida e aprende com o território vivido pelas pessoas (fluxos).

11.8. Educação territorial e democratização da geoinformação

A dimensão educativa é uma das condições para que o WebSIG social se realize. Democratizar a geoinformação não significa apenas disponibilizar mapas; significa formar sujeitos capazes de ler criticamente o território. Isso envolve alfabetização cartográfica, compreensão de indicadores, leitura de desigualdades, interpretação de escalas, análise de relações socioambientais e capacidade de formular perguntas públicas.

A popularização de Google Maps e Google Earth criou familiaridade social com mapas digitais, mas não garantiu leitura crítica. Muitos usuários sabem localizar endereços, calcular rotas e visualizar imagens de satélite, mas não necessariamente compreendem o significado de camadas, indicadores, escalas, séries temporais ou desigualdades territoriais. O WebSIG social deve transformar familiaridade cartográfica em educação territorial.

A UrbVerde tem grande potencial nesse campo porque permite que estudantes analisem seus próprios municípios e bairros. Ao observar cobertura vegetal, temperatura de superfície, parques, praças e outros indicadores, os estudantes podem relacionar dados geográficos à sua experiência cotidiana. A plataforma aproxima ciência, território e cidadania.

Essa perspectiva dialoga com Paulo Freire, para quem a educação deve partir da leitura crítica do mundo e não apenas da transmissão de conteúdos (FREIRE, 1987). O WebSIG social pode ser instrumento de leitura do mundo quando permite que estudantes compreendam as condições socioambientais de seus territórios e formulem propostas de intervenção. A geoinformação deixa de ser técnica distante e se transforma em linguagem cidadã.

Educação territorial também é fundamental para gestores públicos. Muitos municípios precisam de formação para utilizar dados geoespaciais em planejamento, adaptação climática, arborização, drenagem e políticas de espaços livres. O WebSIG deve ser acompanhado por guias, oficinas, cartilhas e materiais de apoio que facilitem a incorporação dos dados às rotinas institucionais (figura 88).

Figura 88 - Educação territorial: UrbVerde na Escola



11.9. A UrbVerde como experiência de WebSIG social

A UrbVerde pode ser interpretada como experiência em construção de um WebSIG social. Sua proposta não se limita à visualização de mapas ambientais. A plataforma busca disponibilizar dados socioambientais georreferenciados para apoiar adaptação climática, planejamento urbano e redução das desigualdades territoriais. Ao reunir indicadores de vegetação, temperatura, parques, praças, impermeabilização e outros temas, ela procura transformar dados técnicos em leitura pública do território (LACERDA, 2025).

O caráter social da UrbVerde aparece em sua orientação para públicos diversos. A plataforma busca atender pesquisadores, gestores, professores, estudantes, jornalistas e sociedade civil. Isso exige interface acessível, linguagem clara, indicadores compreensíveis e conexão com políticas públicas. Lacerda mostra que a reestruturação da UrbVerde utilizou princípios de Interação Humano-Computador, Design Thinking, Double Diamond, heurísticas de usabilidade, linguagem simples e humanismo de dados para reduzir a barreira técnico-científica dos SIG (LACERDA, 2025).

A plataforma também expressa a passagem do dado à ação. Ao oferecer indicadores socioambientais, ela pode subsidiar planos climáticos, políticas de arborização, definição de áreas prioritárias, educação ambiental e monitoramento de políticas públicas. Seu potencial está em permitir que dados espaciais sejam apropriados por sujeitos e instituições que atuam no território.

Mas a UrbVerde também revela os desafios do WebSIG social. É necessário manter dados atualizados, explicar metodologias, evitar interpretações simplistas, ampliar acessibilidade, dialogar com usuários, garantir escalabilidade e conectar diagnósticos a políticas concretas. Esses desafios mostram que um WebSIG social não é produto acabado; é infraestrutura viva, em constante aperfeiçoamento.

A experiência da UrbVerde confirma a tese deste livro: o WebSIG do século XXI deve ser técnico e social ao mesmo tempo. Precisa de dados robustos, mas também de linguagem pública. Precisa de processamento avançado, mas também de interpretação crítica. Precisa de mapas, mas também de políticas. Precisa de especialistas, mas também de usuários ativos (figura 89).

Figura 89 - Mockup da UrbVerde com indicadores



11.10. Riscos do WebSIG social

A defesa do WebSIG social exige reconhecer seus riscos. O primeiro é o risco tecnocrático: acreditar que a plataforma, por si só, resolverá problemas urbanos e ambientais. Nenhum WebSIG substitui políticas públicas, orçamento, participação social, gestão institucional ou conflito democrático. A plataforma informa e orienta, mas não governa sozinha.

O segundo é o risco da simplificação. Para tornar dados acessíveis, pode-se cair na tentação de reduzir demais os conceitos. Linguagem simples não deve significar empobrecimento teórico. O desafio é explicar com clareza sem eliminar complexidade. O usuário precisa compreender o indicador, mas também seus limites.

O terceiro é o risco da naturalização. Mapas podem fazer desigualdades parecerem naturais, como se fossem apenas padrões espaciais. Um WebSIG crítico deve evitar essa leitura. Deve mostrar que desigualdades ambientais e urbanas são produzidas historicamente e podem ser transformadas por políticas públicas.

O quarto é o risco da vigilância. Plataformas territoriais podem ser usadas para controle social, remoções, valorização imobiliária, monitoramento de populações vulneráveis ou decisões autoritárias. A geoinformação tem poder, e esse poder pode ser usado de modos distintos. Por isso, a ética, a governança e a finalidade pública são fundamentais.

O quinto é o risco da exclusão digital. Mesmo plataformas abertas podem não alcançar populações sem acesso adequado à internet, equipamentos, formação ou letramento digital. A democratização do WebSIG precisa ser acompanhada por estratégias educativas, oficinas presenciais, materiais impressos, mediação institucional e parcerias locais.

Reconhecer esses riscos não enfraquece a proposta do WebSIG social. Ao contrário, torna-a mais responsável. Uma plataforma crítica deve ser consciente de seu próprio poder e de seus limites (quadro 13).

Quadro 13 - Matriz de Riscos e Equilíbrio Crítico no WebSIG Social

Risco	A Ameaça / O Desafio	O Contraponto / O Equilíbrio Crítico
Tecnocratismo	Acreditar ingenuamente que a plataforma digital, de forma isolada, tem o poder de resolver problemas complexos urbanos e ambientais.	A plataforma não governa sozinha; ela atua estritamente como um instrumento informativo e orientador que apoia e qualifica - mas jamais substitui - o orçamento, a gestão institucional e o conflito democrático.
Simplificação	Cair na tentação de reduzir excessivamente os conceitos teóricos para tornar a interface acessível, gerando um empobrecimento metodológico.	Adotar uma linguagem simples que mantenha o rigor conceitual, traduzindo a informação de forma clara para que o usuário leigo compreenda tanto o indicador quanto os seus limites técnicos.
Naturalização	Exibir mapas que façam com que as desigualdades socioespaciais pareçam "padrões geográficos naturais", omitindo os processos que as geraram.	Configurar o WebSIG de forma crítica, evidenciando que as assimetrias urbanas e ambientais são frutos de construções históricas e que, portanto, podem ser transformadas por ações políticas.
Vigilância	Subversão do poder da geoinformação para fins autoritários, especulação imobiliária, controle social indesejado ou monitoramento nocivo de populações vulneráveis.	Blindar a plataforma por meio de uma governança ética rigorosa e transparente, garantindo que a coleta e a exibição de dados atendam estritamente à finalidade pública e comunitária.
Exclusão Digital	Restringir o alcance das transformações propostas apenas à parcela da população que já possui conectividade de ponta, dispositivos adequados e letramento digital.	Romper a barreira do ambiente estritamente digital ao integrar o WebSIG a estratégias híbridas, como oficinas presenciais, materiais impressos de apoio e forte mediação de parceiros locais.

11.11. Princípios para um WebSIG social

A partir da discussão desenvolvida neste capítulo, é possível formular alguns princípios para o WebSIG social.

1. O primeiro é o princípio da **justiça territorial**: a plataforma deve ajudar a revelar desigualdades, riscos e vulnerabilidades, orientando políticas de redução de injustiças socioambientais.
2. O segundo é o princípio da **inteligibilidade pública**: dados e indicadores devem ser compreensíveis para usuários não especialistas, sem perder rigor metodológico. Isso exige linguagem simples, visualizações claras, glossários, notas metodológicas e exemplos de interpretação.
3. O terceiro é o princípio da **transparência metodológica**: a plataforma deve explicitar fontes, períodos, métodos, escalas, limitações e incertezas. Um WebSIG público precisa ser auditável e confiável.
4. O quarto é o princípio da **participação**: usuários devem ser considerados não apenas consumidores de mapas, mas sujeitos capazes de contribuir com conhecimento local, demandas, interpretações e avaliação da plataforma.
5. O quinto é o princípio da **conexão com políticas públicas**: indicadores devem dialogar com planos, metas, programas, ações e monitoramento. O WebSIG social deve apoiar o ciclo das políticas públicas.
6. O sexto é o princípio da **educação territorial**: a plataforma deve contribuir para formar leitores críticos do território, especialmente em escolas, universidades, processos participativos e formações de gestores.
7. O sétimo é o princípio da **não neutralidade crítica**: o WebSIG deve reconhecer que toda representação é parcial e situada. A plataforma deve evitar a falsa aparência de neutralidade absoluta e explicitar seus objetivos públicos.

Esses princípios não constituem um modelo fechado. São orientações para construir plataformas mais democráticas, críticas e socialmente úteis (figura 90).

Figura 90 - Princípios do WebSIG social em roda ou mandala



11.12. Considerações finais

O WebSIG social representa uma inflexão necessária na história da geoinformação. Depois do SIG de especialista, do SIG desktop, da geoweb e dos WebSIGs dinâmicos, o desafio contemporâneo é construir plataformas capazes de articular rigor técnico, interpretação crítica, participação social e políticas públicas.

A Geografia Crítica oferece fundamentos indispensáveis para essa tarefa. Ao compreender o espaço como produção social, sistema de objetos e ações, fixos e fluxos, forma e processo, ela impede que o WebSIG se reduza à visualização de camadas. A justiça territorial, por sua vez, dá direção política ao sistema: dados espaciais devem revelar desigualdades, orientar prioridades e apoiar políticas de reparação, adaptação e transformação.

A UrbVerde demonstra que esse horizonte é possível, embora desafiador. Sua experiência mostra que um WebSIG social precisa combinar dados, métodos, interface, linguagem, usuários e políticas públicas. Democratizar a geoinformação exige mais do que publicar mapas: exige construir condições de interpretação, apropriação e ação.

Referências bibliográficas

ACSELRAD, Henri; MELLO, Cecília Campello do Amaral; BEZERRA, Gustavo das Neves. **O que é justiça ambiental**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

CAIRO, Alberto. **The Truthful Art: Data, Charts, and Maps for Communication**. Berkeley: New Riders, 2016.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

ELWOOD, Sarah; GOODCHILD, Michael F.; SUI, Daniel Z. **Researching volunteered geographic information: spatial data, geographic research, and new social practice**. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 102, n. 3, p. 571-590, 2012.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GOODCHILD, Michael F. **Citizens as sensors: the world of volunteered geography**. *GeoJournal*, v. 69, n. 4, p. 211-221, 2007.

HARVEY, David. **A justiça social e a cidade**. São Paulo: Hucitec, 1980.

IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023.

JANNUZZI, Paulo de Martino. **Indicadores para diagnóstico, monitoramento e avaliação de programas sociais no Brasil**. *Revista do Serviço Público*, Brasília, v. 56, n. 2, p. 137-160, 2005.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

LEFEBVRE, Henri. **O direito à cidade**. São Paulo: Centauro, 2001.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

SANTOS, Milton. **Por uma geografia nova: da crítica da geografia a uma geografia crítica**. São Paulo: Hucitec, 1978.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

WARSCHAUER, Mark. **Technology and Social Inclusion: Rethinking the Digital Divide**. Cambridge: MIT Press, 2003.

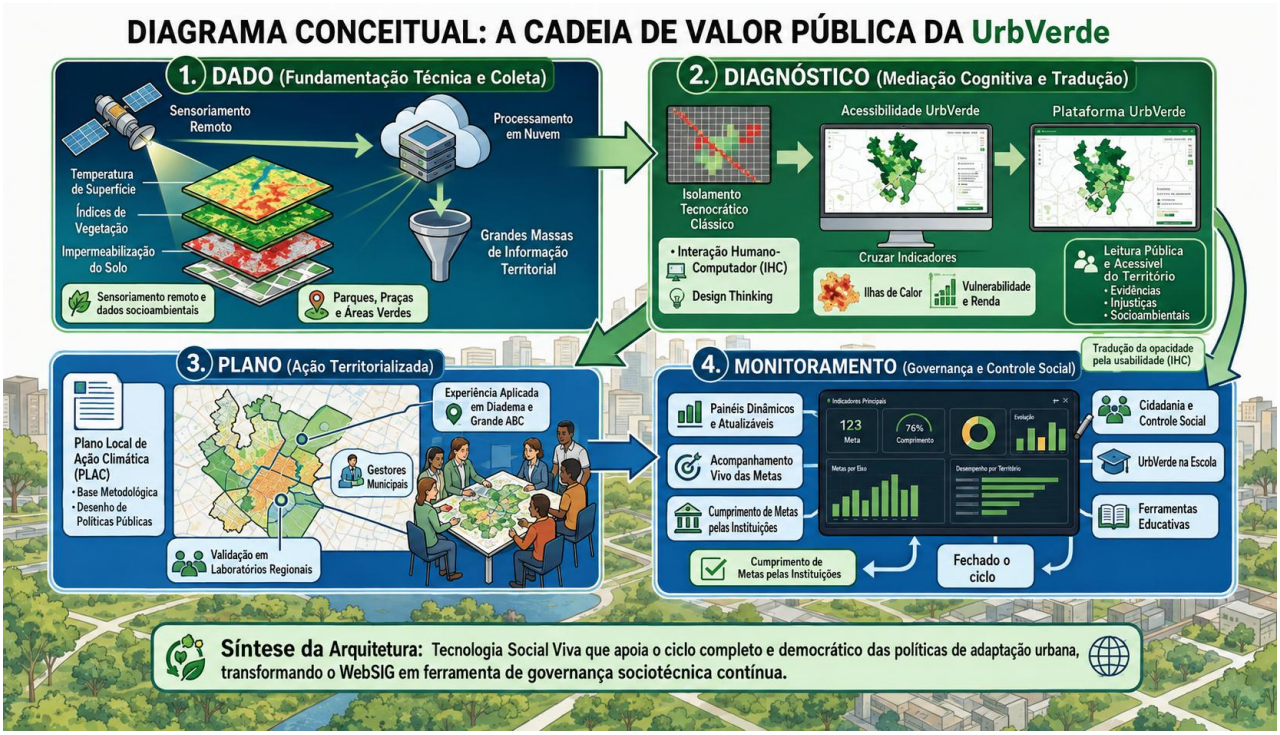
Capítulo 12 - A UrbVerde como laboratório do WebSIG do século XXI: do dado ao plano, do plano ao monitoramento

A Plataforma UrbVerde pode ser compreendida como um laboratório concreto do WebSIG do século XXI porque reúne, em uma mesma experiência, os principais desafios históricos, epistemológicos, técnicos e políticos discutidos ao longo deste livro. Ela não se limita a disponibilizar mapas ambientais na internet. Sua proposta é transformar dados territoriais em diagnósticos, diagnósticos em prioridades, prioridades em ações e ações em processos de monitoramento. Nesse sentido, a UrbVerde permite observar a passagem do WebSIG como visualizador cartográfico para o WebSIG como infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial.

Essa interpretação parte de uma premissa central: dados geográficos não produzem, por si mesmos, política pública. Para que tenham função social, precisam ser processados, organizados, interpretados, comunicados e incorporados a processos institucionais de planejamento e decisão. A experiência da UrbVerde mostra que a geoinformação pública exige uma cadeia de mediações: sensoriamento remoto, processamento em nuvem, indicadores, banco de dados, interface, linguagem simples, materiais pedagógicos, diálogo com gestores, formação de usuários, produção de guias e conexão com instrumentos de planejamento climático e urbano (LACERDA, 2025; COSTA; FANTIN, 2026).

O *Guia UrbVerde para Planos Locais de Ação Climática* explicita essa passagem ao afirmar que o desafio observado nas experiências municipais era transformar bases de informação, reflexões e proposições em instrumentos capazes de orientar diagnósticos e ações climáticas, servindo à gestão municipal e à sociedade civil no enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas em âmbito local (COSTA; FANTIN, 2026). Esse é o ponto que torna a UrbVerde uma experiência paradigmática: ela não se encerra no mapa; ela propõe uma cadeia que vai **do mapa à ação** (figura 91).

Figura 91 - UrbVerde: do dado ao plano, do plano ao monitoramento



12.1. Origem e sentido público da UrbVerde

A UrbVerde nasce no ambiente universitário, mas sua vocação ultrapassa o laboratório acadêmico. Desenvolvida no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, em diálogo com diferentes grupos de pesquisa, instituições públicas e parceiros sociais, a plataforma foi concebida para organizar dados socioambientais urbanos e apoiar processos de planejamento, educação territorial, adaptação climática e redução das desigualdades. Sua especificidade está em articular rigor técnico-metodológico e compromisso público.

Assim, de um lado, a UrbVerde opera com técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto, análise espacial, indicadores e plataformas digitais. De outro, busca traduzir esses dados em informações compreensíveis para gestores públicos, professores, estudantes, jornalistas, organizações sociais e cidadãos. A plataforma se posiciona, portanto, no espaço intermediário entre a produção científica e a apropriação social do conhecimento territorial.

O projeto UrbVerde foi consolidado no âmbito do Programa de Pesquisa em Políticas Públicas da FAPESP, com o título "Políticas Públicas para Qualificação Territorial Orientada à Adaptação Climática e Redução das Desigualdades", articulando IAU-USP, Instituto Pólis, Consórcio Intermunicipal Grande ABC e Prefeitura Municipal de Diadema, além de apoio do CNPq (COSTA; FANTIN, 2026). O guia registra que essa parceria reuniu a experiência de pesquisa e desenvolvimento da plataforma, a trajetória do Instituto Pólis em justiça socioambiental e direito à cidade e o trabalho do Consórcio junto às prefeituras do Grande ABC em agendas de planejamento urbano, clima e redução de desigualdades.

Essa origem institucional é importante porque evidencia que o WebSIG do século XXI não é apenas tecnologia. Ele depende de arranjos colaborativos, financiamento, equipe interdisciplinar, pactuação com gestores, validação técnica, formação e produção de instrumentos. A plataforma não nasce isolada; ela se constrói em rede. Essa dimensão confirma a tese deste livro: um WebSIG público é uma infraestrutura sociotécnica, não apenas um sistema cartográfico.

12.2. A plataforma como infraestrutura de inteligência territorial

A UrbVerde pode ser lida como infraestrutura de inteligência territorial porque organiza dados ambientais e urbanos em uma lógica de análise pública. A plataforma não se limita a representar objetos espaciais; ela produz indicadores capazes de evidenciar desigualdades socioambientais e orientar decisões. Vegetação, temperatura de superfície, parques, praças, impermeabilização, hidrografia, riscos e vulnerabilidades deixam de ser informações dispersas e passam a compor um sistema de leitura do território.

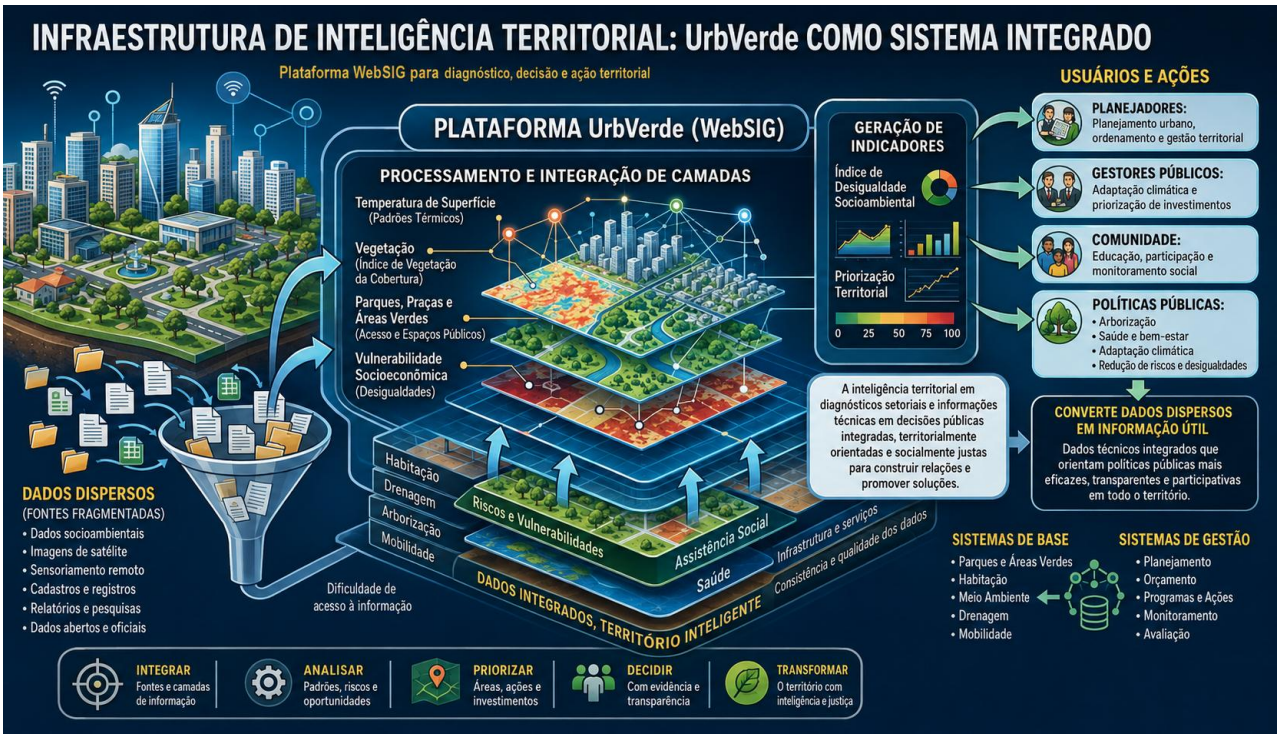
Essa dimensão responde a uma dificuldade recorrente dos municípios: transformar informações fragmentadas em decisões integradas. O *Guia UrbVerde* afirma que a plataforma emerge como resposta ao desafio de converter dados dispersos, diagnósticos setoriais e informações técnicas em decisões públicas integradas, territorialmente orientadas e passíveis de monitoramento contínuo (COSTA; FANTIN, 2026).

Muitos municípios possuem dados, mas não possuem capacidade institucional ou técnica para integrá-los. Bases de habitação, drenagem, arborização, riscos, saúde, assistência social, transporte e uso do solo frequentemente permanecem separadas. A UrbVerde propõe uma forma de integração: organizar camadas e indicadores que permitam cruzar dimensões ambientais, urbanas e sociais.

A inteligência territorial não nasce do acúmulo de camadas. Ela nasce da capacidade de construir relações. Uma camada de temperatura de superfície revela padrões térmicos; uma camada de vegetação revela distribuição de cobertura vegetal; uma camada de parques e praças revela acesso a espaços públicos; uma camada de vulnerabilidade socioeconômica revela desigualdades. A potência do WebSIG está em permitir que essas dimensões sejam lidas em conjunto.

Nesse sentido, a UrbVerde se aproxima da ideia de Milton Santos de que o espaço é formado por sistemas de objetos e sistemas de ações (SANTOS, 1996). A plataforma representa objetos - praças, parques, vegetação, superfícies de temperatura, limites territoriais -, mas sua finalidade é apoiar ações: planejamento, adaptação climática, educação, priorização territorial e monitoramento de políticas públicas (figura 92).

Figura 92 - Infraestrutura de inteligência territorial: plataforma, dados, usuários e políticas



12.3. Escalas, categorias e indicadores

Uma das características centrais da UrbVerde é sua capacidade de trabalhar com múltiplas escalas. A plataforma permite análises estaduais, municipais e intraurbanas, articulando recortes como municípios, setores censitários e espaços livres. A cartilha *UrbVerde na Escola* destaca que a plataforma possibilita análises em escala estadual e intraurbana, permitindo comparar desigualdades de diferentes formas, além de trabalhar com uma coleção de dados com variação temporal entre 2016 e 2021 (COSTA et al., 2024).

Essa multiescalaridade é fundamental para o WebSIG do século XXI. A crise climática e as desigualdades socioambientais se manifestam em diferentes escalas. Uma análise estadual permite comparar municípios; uma análise municipal permite identificar desigualdades internas; uma análise intraurbana permite observar bairros, setores e populações mais expostas. A escala não é apenas escolha técnica; é escolha política e epistemológica.

As categorias centrais da UrbVerde - parques e praças, vegetação e temperatura - organizam uma leitura integrada da qualidade ambiental urbana. A categoria de vegetação permite analisar cobertura vegetal e sua distribuição desigual. A categoria de temperatura permite observar padrões de calor urbano. A categoria de parques e praças permite discutir acesso a espaços livres públicos, qualidade de vida e infraestrutura verde. Essas dimensões, quando articuladas, ajudam a compreender a desigualdade socioambiental como fenômeno territorial.

Os indicadores são mediações fundamentais. Eles traduzem fenômenos complexos em medidas comparáveis. Percentual de Cobertura Vegetal, cobertura vegetal por habitante, temperatura de

superfície, acesso a praças e parques, população atendida, distância média e outros indicadores permitem transformar dados geográficos em diagnóstico. Mas esses indicadores precisam ser explicados, contextualizados e utilizados com cautela, pois não são a realidade em si, mas representações produzidas por métodos, escalas e escolhas analíticas (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

A UrbVerde mostra, portanto, que o WebSIG social deve combinar três elementos: dados consistentes, indicadores interpretáveis e escalas adequadas. Sem dados, não há diagnóstico. Sem indicadores, não há comparação. Sem escala adequada, a desigualdade pode desaparecer ou ser distorcida. O desafio é articular esses elementos em uma interface pública capaz de orientar leituras críticas do território (quadro 14).

Quadro 14 - Categorias, Indicadores e Escalas UrbVerde

Categoria	Indicadores Citados	O que Permite Analisar / Tradução Social	Aplicação nas Múltiplas Escalas (Temporal: 2016–2021)
Vegetação	• Percentual de Cobertura Vegetal • Cobertura vegetal por habitante	Permite analisar a cobertura vegetal e sua distribuição desigual pelo território (identificando, por exemplo, se um "bairro tem pouca vegetação").	**Estadual:** Permite comparar a cobertura vegetal entre diferentes municípios. **Municipal / Intraurbana:** Identifica desigualdades internas, mapeando a distribuição por bairros e setores censitários.
Temperatura	• Temperatura de superfície	Permite observar padrões de calor urbano e identificar "muito calor" ou ilhas de calor na cidade.	**Análise Temporal:** Avalia a variação e evolução dos padrões de calor ao longo dos anos (2016–2021) nas diferentes escalas.
Parques / Praças	• Acesso a praças e parques • População atendida • Distância média	Permite discutir o acesso a espaços livres públicos, a infraestrutura verde e o impacto direto na qualidade de vida dos cidadãos ("poucas praças").	**Intraurbana e Espaços Livres:** Foca na escala do pedestre e do cidadão, medindo a distância média e quais populações são atendidas.
Impermeabilização	*Focado em diagnóstico de solo urbano e escoamento*	Articula-se com a falta de vegetação para entender os impactos no microclima e os riscos de manejo das águas urbanas.	**Intraurbana:** Cruza dados de solo exposto/construído com setores censitários para avaliar o impacto local.
Vulnerabilidade	*Indicadores integrados (socioambientais e climáticos)*	Permite entender a desigualdade socioambiental como um fenômeno territorial e a "maior exposição a riscos climáticos".	**Articulação de Escalas:** Cruza os dados ambientais (calor/vegetação) com os recortes sociais (setores censitários) para expor populações vulneráveis.
Principais Lições do Modelo UrbVerde			
1. **A Tríade do WebSIG Social:** Para que a plataforma funcione como ferramenta de transformação, ela combina dados consistentes (sensoriamento remoto, imagens), indicadores interpretáveis (tradução em diagnósticos claros) e escalas adequadas.			
2. A Escala como Escolha Política: A alternância entre o olhar macro (Estadual) e o micro (Intraurbano/Setores Censitários) garante que as desigualdades socioambientais não sejam "mascaradas" ou distorcidas por generalizações.			
3.Variação Temporal: A análise do recorte entre 2016 e 2021 possibilita monitorar se as desigualdades em relação ao calor urbano e ao acesso a áreas verdes estão regredindo ou se agravando nas cidades brasileiras.			

12.4. Do sensoriamento remoto à leitura pública do território

A UrbVerde depende de uma base técnico-científica sofisticada. Sensoriamento remoto, imagens de satélite, processamento em nuvem, algoritmos de classificação e análise espacial permitem produzir indicadores em larga escala. Essa capacidade técnica aproxima a plataforma das transformações contemporâneas da Ciência da Geoinformação, especialmente da expansão dos dados massivos, do processamento planetário e da computação em nuvem (GORELICK et al., 2017; LACERDA, 2025).

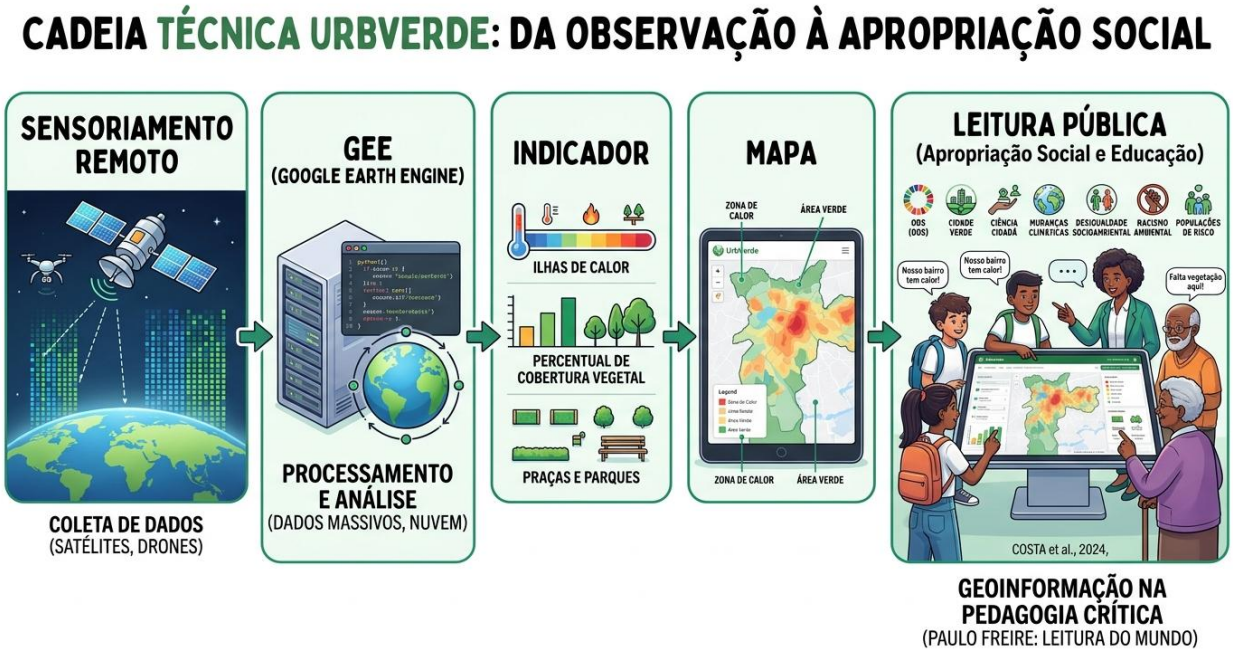
No entanto, o diferencial da UrbVerde não está apenas no processamento. Está na tradução do processamento em leitura pública. A informação gerada por imagens de satélite ou algoritmos precisa ser convertida em mapas, gráficos, textos, legendas, painéis e materiais educativos. A plataforma precisa transformar uma linguagem técnica em uma linguagem socialmente apropriável.

Essa passagem responde a um problema discutido nos capítulos anteriores: a barreira técnico-científica dos SIG. O usuário comum pode não compreender raster, vetor, NDVI, temperatura de superfície, setor censitário ou índice de cobertura vegetal. Mas pode compreender que seu bairro tem pouca vegetação, muito calor, poucas praças e maior exposição a riscos climáticos. A função do WebSIG social é justamente realizar essa tradução sem banalizar o conhecimento.

Lacerda (2025) demonstra que a reestruturação da UrbVerde utilizou princípios da Interação Humano-Computador, Design Thinking, Double Diamond, heurísticas de usabilidade, linguagem simples e humanismo de dados para melhorar a clareza, a usabilidade e o engajamento dos usuários. Essa abordagem indica que a interface não é apenas camada estética, mas componente metodológico da democratização da geoinformação.

A UrbVerde, nesse sentido, confirma uma tese central deste livro: a interface é mediação epistemológica e política. Ela define o modo como o usuário percebe o território, entende indicadores, formula perguntas e transforma dados em interpretação. Uma plataforma pública precisa ser tecnicamente rigorosa, mas também compreensível (figura 93).

Figura 93 - Cadeia técnica: sensoriamento remoto → GEE → indicador → mapa → leitura pública



12.5. A dimensão educativa: UrbVerde na Escola

A dimensão educativa da UrbVerde é uma das principais evidências de seu caráter social. A cartilha *UrbVerde na Escola* foi organizada para aproximar estudantes, professores e comunidades escolares da leitura socioambiental do território. Seu sumário inclui temas como plataformas ambientais, cidades verdes, Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, ciência cidadã, mudanças climáticas, ilhas de calor, percentual de cobertura vegetal, praças e parques, desigualdade socioambiental, racismo ambiental e populações de risco (COSTA et al., 2024).

Essa estrutura demonstra que a plataforma não é apenas ferramenta técnica; é também instrumento pedagógico. Ao trabalhar com categorias como temperatura, vegetação e parques e praças, a UrbVerde permite que estudantes analisem seus próprios territórios. O bairro deixa de ser apenas lugar vivido e passa a ser objeto de investigação. A cidade deixa de ser abstração e passa a ser lida por meio de dados, mapas e perguntas.

A cartilha propõe atividades de sala de aula voltadas à reflexão sobre políticas públicas, sustentabilidade urbana e uso da UrbVerde como plataforma de análise socioambiental e planejamento urbano com dados reais (COSTA et al., 2024). Essa proposta aproxima a geoinformação da pedagogia crítica: o estudante não apenas aprende conceitos ambientais; aprende a interpretar seu território e formular propostas.

Essa dimensão dialoga com Paulo Freire, para quem a educação envolve leitura crítica do mundo e não apenas transmissão de conteúdos (FREIRE, 1987). A UrbVerde pode funcionar como instrumento de leitura do mundo quando ajuda estudantes a compreender desigualdades socioambientais, relacionar

dados a experiências cotidianas e construir propostas de intervenção. O WebSIG torna-se, assim, tecnologia educativa.

A educação territorial é também condição para a democratização da geoinformação. A familiaridade com mapas digitais, produzida por plataformas comerciais como Google Maps e Google Earth, não basta. É preciso formar usuários capazes de interpretar indicadores, compreender relações, reconhecer limites metodológicos e mobilizar dados em debates públicos. A UrbVerde na Escola atua justamente nessa passagem entre visualização e interpretação (figura 94).

Figura 94 - Dimensão educativa: modelo de atividade escolar produzido com apoio de IA a partir de práticas reais da UrbVerde, articulando a leitura do mapa do bairro à formulação de perguntas orientadoras para análise socioambiental



12.6. Do mapa à ação: a UrbVerde e os Planos Locais de Ação Climática

A expressão "do mapa à ação" sintetiza o papel da UrbVerde como infraestrutura pública de planejamento climático. O mapa não deve ser o ponto final da análise. Ele deve ser o início de uma cadeia que envolve diagnóstico, priorização, definição de ações, construção de indicadores, monitoramento e revisão. O *Guia UrbVerde* afirma que seu propósito é apoiar gestores públicos, equipes técnicas municipais e pesquisadores na construção de políticas locais de ação climática, facilitando o uso de informações territoriais, ambientais e socioeconômicas disponibilizadas pela plataforma (COSTA; FANTIN, 2026).

Essa concepção reposiciona o WebSIG. Ele deixa de ser apenas repositório de dados e passa a integrar o ciclo das políticas públicas. No diagnóstico, ajuda a identificar problemas e vulnerabilidades. Na formulação, orienta prioridades e eixos de ação. Na implementação, permite localizar intervenções. No

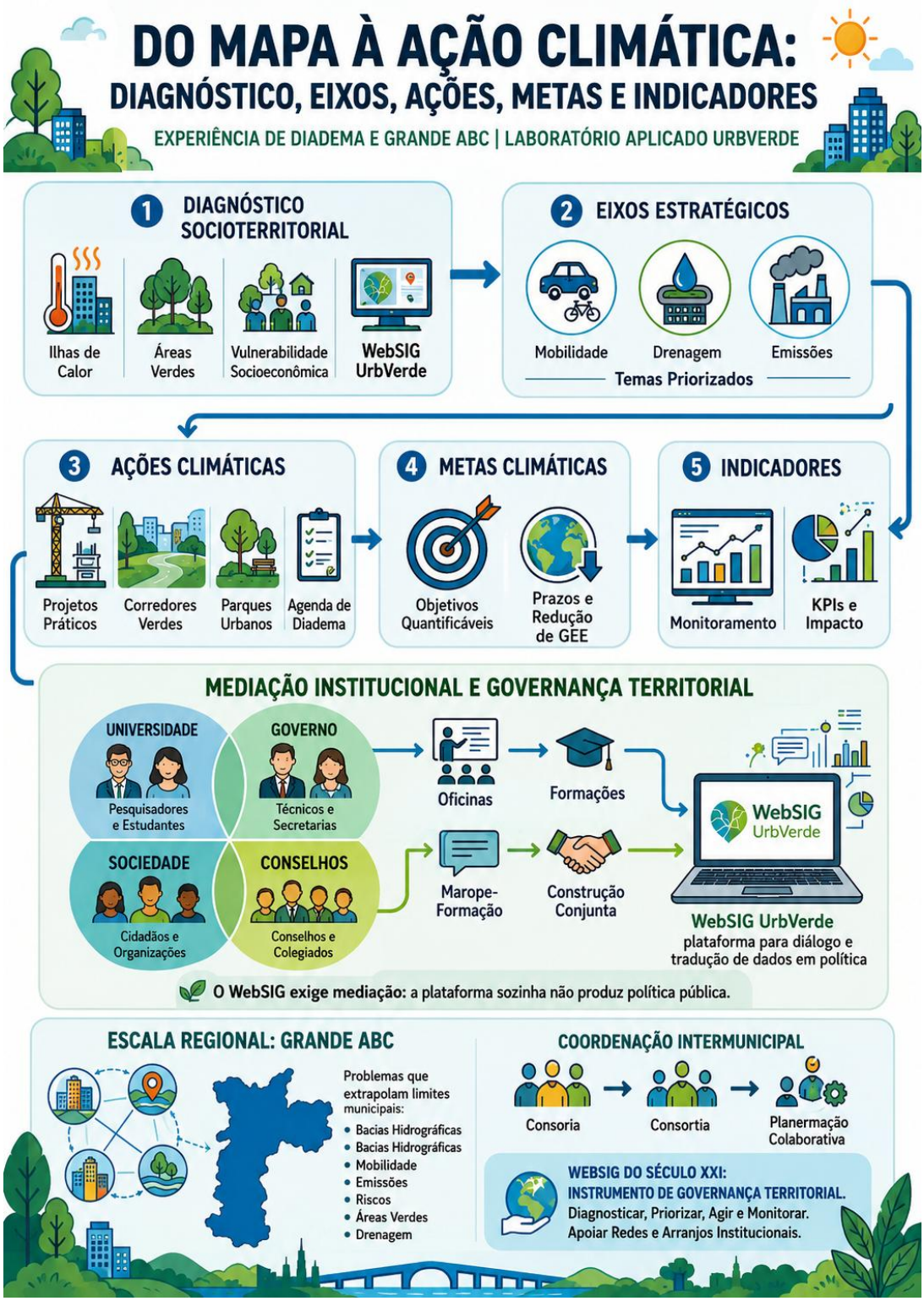
monitoramento, acompanha indicadores ao longo do tempo. Na avaliação, oferece evidências para revisar políticas.

O guia destaca que os PLACs demandam infraestruturas públicas de dados para se tornarem efetivos, pois a qualidade desses planos depende da capacidade de sustentar diagnósticos, decisões e monitoramento a partir de informações territoriais consistentes (COSTA; FANTIN, 2026). Essa formulação é fundamental: a dimensão informacional não é suporte secundário; ela integra o núcleo da governança climática local.

O desafio é transformar evidências territoriais em políticas integradas. Um diagnóstico de ilhas de calor pode orientar arborização, criação de áreas verdes, revisão de materiais urbanos, proteção de populações vulneráveis e ações de saúde pública. Um diagnóstico de déficit de praças pode orientar investimentos em espaços livres, qualificação de áreas públicas e políticas de lazer. Um diagnóstico de impermeabilização pode orientar drenagem sustentável e soluções baseadas na natureza.

A UrbVerde permite que essas relações sejam visualizadas e discutidas. Mas a ação depende de instituições, orçamento, participação social e vontade política. A plataforma apoia o planejamento; não o substitui. Sua força está em qualificar a decisão pública com base territorial (figura 95).

Figura 95 - Do mapa à ação climática: diagnóstico, eixos, ações, metas e indicadores



12.7. Diadema e Grande ABC: o laboratório aplicado

A experiência com Diadema e o Grande ABC constitui um laboratório aplicado da UrbVerde. O projeto articulou diagnósticos territoriais, oficinas, formações, construção conjunta de análises

socioterritoriais e proposição de ações climáticas. O *Guia UrbVerde* registra que, ao longo do projeto, a equipe trabalhou diretamente com equipes técnicas municipais, conselhos, organizações da sociedade civil e gestores públicos, combinando diagnósticos baseados em dados - como mapas de ilhas de calor, áreas verdes, riscos e vulnerabilidades socioeconômicas - com processos de formação e construção conjunta (COSTA; FANTIN, 2026).

Essa experiência é importante porque demonstra que o WebSIG social exige mediação institucional. A plataforma, sozinha, não produz política pública. É necessário construir espaços de diálogo com equipes técnicas, secretarias, conselhos e organizações sociais. Os dados precisam ser apresentados, debatidos, interpretados e traduzidos em prioridades. O conhecimento territorial precisa circular entre universidade, governo e sociedade.

No caso de Diadema, a UrbVerde articulou diagnóstico socioterritorial e agenda de ações estratégicas. As publicações da Agenda de Ação Climática de Diadema, organizadas por Vitor Coelho Nisida e Marcel Fantin, registram essa passagem entre diagnóstico e ação, com foco em crise climática, políticas públicas e planejamento territorial (NISIDA; FANTIN, 2026a; NISIDA; FANTIN, 2026b).

A experiência do Grande ABC também mostra a importância da escala regional. Problemas climáticos, ambientais e urbanos frequentemente ultrapassam limites municipais. Bacias hidrográficas, mobilidade, emissões, riscos, áreas verdes, drenagem e vulnerabilidades exigem coordenação intermunicipal. Nesse contexto, um WebSIG pode apoiar tanto leituras locais quanto articulações regionais.

Esse laboratório aplicado reforça a ideia de que o WebSIG do século XXI deve ser instrumento de governança territorial. Ele precisa ajudar municípios a diagnosticar, priorizar, agir e monitorar. Mas também precisa apoiar consórcios, redes e arranjos institucionais capazes de enfrentar problemas que excedem a capacidade de uma única prefeitura (figura 96).

Figura 96 - Diadema e Grande ABC como laboratório aplicado



12.8. A cadeia de valor pública: dado, diagnóstico, plano e monitoramento

Uma das principais contribuições da UrbVerde é explicitar uma cadeia de valor pública da geoinformação. Essa cadeia pode ser sintetizada em quatro momentos: **dado, diagnóstico, plano e monitoramento**.

O primeiro momento é o dado. Ele envolve a produção, coleta, processamento e organização de informações territoriais. Sem dados confiáveis, não há diagnóstico consistente. O segundo momento é o diagnóstico. Ele transforma dados em leitura territorial, identificando problemas, padrões, desigualdades e prioridades. O terceiro momento é o plano. Ele converte diagnóstico em ações, metas, responsabilidades, eixos e instrumentos. O quarto momento é o monitoramento. Ele acompanha a implementação, avalia resultados e permite revisão.

Essa cadeia aparece de forma clara nos materiais da UrbVerde. O guia afirma que a plataforma deve apoiar tanto a elaboração quanto o acompanhamento de Planos Locais de Ação Climática, contribuindo para transformar diagnósticos territoriais em políticas públicas mais integradas e duradouras (COSTA; FANTIN, 2026).

Essa formulação supera a visão do WebSIG como produto. O mapa não é entrega final; é parte de um processo. O indicador não é conclusão; é instrumento de decisão. O diagnóstico não é relatório estático; é base para ação. O plano não é documento encerrado; precisa ser monitorado. O WebSIG do século XXI deve estruturar essa continuidade.

A cadeia de valor pública também evita a fragmentação institucional. Quando dados, diagnósticos, planos e monitoramento são pensados de forma integrada, a plataforma pode aproximar secretarias, equipes técnicas, conselhos e sociedade civil. A geoinformação deixa de ser um produto de especialistas e passa a ser linguagem comum de planejamento (figura 97).

Figura 97 - Cadeia de valor pública: dado → diagnóstico → plano → monitoramento → revisão



12.9. Tradução, acessibilidade e institucionalização

A experiência da UrbVerde mostra que um WebSIG social depende de três dimensões articuladas: leitura territorial, tradução e institucionalização. Os materiais de candidatura da UrbVerde ao Prêmio ANPARQ sintetizam essa contribuição ao afirmar que o projeto articula leitura territorial com qualidade técnico-metodológica, tradução e acessibilidade para reduzir a distância entre SIGs especializados e o uso cotidiano por equipes públicas e comunidade, e institucionalização por meio de guias, agendas, diagnósticos e indicadores que estruturam processos, não apenas produtos.

A leitura territorial corresponde à capacidade de produzir diagnósticos com base em dados confiáveis. A tradução corresponde à capacidade de tornar esses dados compreensíveis. A institucionalização corresponde à capacidade de transformar diagnóstico em instrumentos, rotinas, guias, agendas e políticas. Essas três dimensões são inseparáveis.

Sem leitura territorial, a plataforma pode se tornar superficial. Sem tradução, permanece restrita a especialistas. Sem institucionalização, não se converte em política pública. A UrbVerde mostra que o WebSIG do século XXI precisa trabalhar simultaneamente nessas três frentes.

Essa combinação também responde ao problema da pirâmide especialista-usuário. A plataforma precisa preservar rigor técnico, mas reduzir a distância entre quem produz os dados e quem precisa utilizá-los. Isso exige interface acessível, linguagem simples, materiais pedagógicos, oficinas, documentação e diálogo com usuários.

A institucionalização é talvez a dimensão mais difícil. Ela depende de continuidade, financiamento, equipes, pactuações e integração com instrumentos de planejamento. Um WebSIG pode ser excelente tecnicamente e fracassar institucionalmente se não houver uso real, manutenção e incorporação às rotinas de gestão (quadro 15).

Quadro 15 - Tripé da experiência: tradução, acessibilidade e institucionalização

Dimensão	O que representa?	O que entrega?	O risco da ausência?
1. Leitura Territorial	Capacidade de produzir diagnósticos profundos com base em dados confiáveis.	Rigor técnico-metodológico e dados de alta qualidade.	**Sem ela:** A plataforma se torna superficial e sem credibilidade.
2. Tradução & Acessibilidade	Capacidade de tornar os dados complexos compreensíveis a não-especialistas.	Interface amigável, linguagem simples, oficinas e materiais pedagógicos.	**Sem ela:** O sistema permanece restrito a uma bolha de especialistas.
3. Institucionalização	Capacidade de transformar diagnósticos em rotinas e políticas públicas.	Guias, agendas, indicadores e incorporação ao planejamento real.	**Sem ela:** A ferramenta morre como produto e não vira processo.

🎯 O Desafio Central: A Pirâmide Especialista-Usuário

O grande mérito do modelo UrbVerde é **reduzir a distância** entre quem produz o dado e quem precisa utilizá-lo na ponta (equipes públicas e comunidade), sem perder o rigor técnico.

💡 A Visão de Sucesso do Projeto:

Um WebSIG excelente não é aquele com o código mais complexo, mas sim aquele que consegue manter seus dados **vivos, inteligíveis e integrados** às rotinas de gestão e à formulação de políticas públicas reais.

12.10. A UrbVerde como tecnologia social

A UrbVerde pode ser interpretada como tecnologia social porque combina conhecimento técnico-científico, participação, formação e aplicação pública. Ela não é apenas um software; é um arranjo de produção e circulação de conhecimento voltado à transformação territorial. Sua função é ampliar a capacidade pública e social de compreender o território e agir sobre ele.

Essa leitura está presente nos materiais do projeto, que definem a UrbVerde como iniciativa extensionista construída em rede para transformar conhecimento técnico-científico em capacidade pública de ação climática, articulando Consórcio Intermunicipal Grande ABC, Prefeitura de Diadema, Instituto Pólis, IAU-USP, UFSCar, escolas, educadores, imprensa, organizações da sociedade civil e redes de cooperação científica e técnica voltadas ao clima urbano, justiça socioambiental e infraestrutura verde.

A ideia de tecnologia social é importante porque desloca o foco do artefato para o processo. O valor da UrbVerde não está apenas na plataforma digital, mas na rede de usos que ela permite: educação climática, formação de gestores, elaboração de guias, construção de agendas, produção de diagnósticos, apoio a políticas públicas, divulgação científica e participação social.

Essa abordagem dialoga com a extensão universitária. A universidade não apenas produz dados; ela os coloca em circulação pública, em diálogo com municípios, escolas e organizações sociais. O conhecimento científico retorna ao território como instrumento de interpretação e ação. Isso reforça a função pública da universidade.

A UrbVerde também evidencia que o WebSIG do século XXI precisa ser replicável e adaptável. Seu método pode inspirar outras plataformas, municípios e regiões, desde que respeitadas as especificidades locais. A tecnologia social não é modelo rígido; é experiência que pode ser apropriada, ajustada e recontextualizada (figura 98).

Figura 98 - Rede e arranjo institucional: UrbVerde como tecnologia social - universidade, consórcio, prefeitura, escolas e sociedade civil



12.11. Limites e desafios da UrbVerde

Tomar a UrbVerde como laboratório não significa apresentá-la como solução acabada. Ao contrário, seu valor está também nos desafios que revela. O primeiro desafio é a atualização contínua dos dados. Indicadores ambientais e urbanos mudam ao longo do tempo, e a plataforma precisa manter rotinas de processamento, validação e publicação.

O segundo desafio é a escalabilidade. À medida que novas camadas, indicadores, municípios e painéis são incorporados, a arquitetura técnica precisa suportar crescimento sem perder desempenho, clareza e estabilidade. Lacerda (2025) mostra que a reestruturação da plataforma foi motivada pela necessidade de ampliar escalabilidade, acessibilidade e capacidade de expansão.

O terceiro desafio é a interpretação. Mesmo com interface melhorada, muitos indicadores exigem explicação. O usuário precisa compreender o que está vendo, quais são os limites do dado e como utilizá-lo. Isso exige glossários, notas metodológicas, tutoriais, guias e formações.

O quarto desafio é a apropriação institucional. Municípios possuem capacidades técnicas e administrativas muito diferentes. Alguns podem incorporar rapidamente os dados; outros precisam de formação, apoio e mediação. A plataforma deve ser flexível para atender realidades diversas.

O quinto desafio é evitar a reificação dos mapas. Câmara, Monteiro e Medeiros (2003) alertam que usuários podem tomar representações computacionais como se fossem a própria realidade. A UrbVerde precisa reforçar permanentemente que seus indicadores são aproximações metodológicas, não substitutos do trabalho de campo, da escuta social e da deliberação política.

O sexto desafio é a sustentabilidade institucional. Um WebSIG público exige equipe, recursos, manutenção e governança. Sem continuidade, a plataforma pode perder atualidade e relevância. Esse é um problema comum a muitas iniciativas digitais públicas e acadêmicas (quadro 16).

Quadro 16 - Limites e desafios da UrbVerde: atualização, escala, metodologia e, institucionalização

Eixo Temático	Desafio Específico	Descrição do Limite / Problema	O que é necessário / Solução indicada
Atualização	Atualização contínua dos dados	Indicadores ambientais e urbanos são dinâmicos e mudam constantemente ao longo do tempo.	Manter rotinas rigorosas de processamento, validação e publicação de dados.
Escala	Escalabilidade e desempenho técnico	O crescimento da plataforma (novas camadas, indicadores, municípios e painéis) pode afetar a estabilidade.	Uma arquitetura técnica robusta que suporte a expansão sem perder desempenho, clareza e acessibilidade (como a reestruturação de 2025).
Metodologia	Interpretação e clareza dos indicadores	Interface melhorada não basta; muitos indicadores complexos exigem explicação para evitar erros de uso.	Produzir glossários, notas metodológicas, tutoriais, guias práticos e formações contínuas.
Metodologia	Evitar a reificação dos mapas	Risco de usuários tomarem as representações computacionais (mapas) como a própria realidade absoluta.	Reforçar que os indicadores são aproximações metodológicas que não substituem o trabalho de campo, a escuta social e a deliberação política.
Institucionalização	Apropriação institucional heterogênea	Municípios possuem capacidades técnicas e administrativas muito desiguais para absorver a tecnologia.	Flexibilidade da plataforma para atender realidades diversas, oferecendo formação, apoio e mediação.
Institucionalização	Sustentabilidade institucional	Risco de descontinuidade, perda de atualidade e relevância por ser um WebSIG público e acadêmico.	Garantir equipe técnica permanente, recursos financeiros, manutenção contínua e governança sólida.

Importante!

- **Do Artefato ao Processo:** A UrbVerde funciona como uma tecnologia social. Por isso, os desafios metodológicos e institucionais são tão críticos quanto à infraestrutura de servidores e código.
- **Uso Político-Social:** O maior cuidado metodológico destacado é garantir que a plataforma seja um *meio* de interpretação e não um *fim* que ignore a realidade viva dos territórios e das comunidades.

12.12. Lições para o WebSIG do século XXI

A experiência da UrbVerde permite formular algumas lições para o WebSIG do século XXI (quadro 17).

1. A primeira é que o dado precisa estar orientado por problemas públicos. Produzir camadas sem perguntas pode gerar excesso de informação e pouca interpretação. A plataforma deve partir de problemas concretos: calor, vegetação, praças, desigualdade, risco, adaptação, planejamento e monitoramento.

2. A segunda lição é que a interface é parte do método. Um WebSIG social não pode tratar a experiência do usuário como detalhe. Usabilidade, acessibilidade, linguagem simples e visualização clara são condições de democratização da geoinformação.

3. A terceira lição é que indicadores precisam ser comunicáveis. Um indicador robusto, mas incompreensível, não cumpre função pública. A plataforma deve oferecer diferentes níveis de leitura: síntese para usuários gerais, explicação intermediária para gestores e documentação técnica para especialistas.

4. A quarta lição é que a plataforma deve conectar diagnóstico e ação. O mapa precisa apontar para planos, metas, ações e monitoramento. Essa é a diferença entre um WebSIG informativo e um WebSIG orientado à política pública.

5. A quinta lição é que a governança importa. Parcerias, financiamento, validação técnica, participação social e continuidade institucional são componentes da plataforma tanto quanto código e banco de dados.

6. A sexta lição é que o WebSIG deve reconhecer seus limites. Nenhuma plataforma substitui trabalho de campo, participação social ou decisão política. O WebSIG qualifica a leitura territorial, mas a transformação depende de instituições, sujeitos e processos democráticos.

Quadro 17 - Lições para o WebSIG do século XXI

Lição	Foco Principal	O que isso significa na prática?
1. Orientação por Problemas Públicos	**Direcionamento estratégico**	Evitar o excesso de dados sem propósito. A plataforma deve partir de perguntas e desafios concretos (como calor urbano, desigualdade, risco e adaptação) em vez de apenas acumular camadas de informação.
2. Interface como Método	**Experiência do Usuário (UX)**	A interface é fundamental para democratizar a informação. Usabilidade, acessibilidade, linguagem simples e visualização clara não são detalhes, mas condições para a participação social.
3. Indicadores Comunicáveis	**Transparência e Clareza**	Dados robustos precisam ser compreensíveis. O sistema deve oferecer três níveis de leitura: síntese para o público geral, explicações intermediárias para gestores e documentação técnica para especialistas.
4. Conexão entre Diagnóstico e Ação	**Impacto em Políticas Públicas**	O mapa não deve ser apenas informativo; ele precisa apontar caminhos práticos, conectando o diagnóstico territorial a planos, metas, ações e monitoramento.
5. Governança Importa	**Sustentabilidade do Projeto**	Uma plataforma não é feita apenas de código e banco de dados. Ela depende de parcerias, financiamento, validação técnica, participação social e continuidade institucional para sobreviver e fazer a diferença.
6. Reconhecimento dos Limites	**Humildade Tecnológica**	O WebSIG qualifica a leitura do território, mas não substitui o trabalho de campo, a participação social direta ou a decisão política. A transformação real depende de processos institucionais e democráticos.

12.13. Considerações finais

A UrbVerde confirma, em uma experiência concreta, a tese central deste livro: o WebSIG do século XXI deve ser compreendido como infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial. Seu objetivo não é apenas disponibilizar mapas, mas criar condições para que diferentes sujeitos compreendam o território, identifiquem desigualdades, formulem prioridades e apoiem políticas públicas.

Ao articular sensoriamento remoto, indicadores socioambientais, escalas de análise, interface pública, educação territorial, guias metodológicos, agendas climáticas e parcerias institucionais, a UrbVerde mostra que a geoinformação pode se converter em capacidade pública de ação. Sua força está em estruturar uma cadeia que vai do dado ao diagnóstico, do diagnóstico ao plano e do plano ao monitoramento.

Essa cadeia não elimina conflitos, nem substitui a política. Mas amplia a capacidade social de enxergar o território, compreender desigualdades e disputar prioridades com base em evidências. A UrbVerde é,

portanto, laboratório e horizonte: uma experiência em construção que aponta para WebSIGs sociais, públicos, críticos, educativos e orientados à justiça territorial.

Referências bibliográficas

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

COSTA, Marcela Fernandes da; FANTIN, Marcel (org.). **Do mapa à ação: Guia UrbVerde para Planos Locais de Ação Climática**. São Carlos: IAU/USP, 2026. DOI: 10.11606/9788566624588.

COSTA, Marcela Fernandes da et al. (org.). **UrbVerde na escola**. São Carlos: IAU/USP, 2024. DOI: 10.11606/9788566624427.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GORELICK, Noel et al. **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone**. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

NISIDA, Vitor Coelho; FANTIN, Marcel (org.). **Agenda climática de Diadema: ações estratégicas - Plataforma UrbVerde**. São Carlos: IAU/USP, 2026. DOI: 10.11606/9788566624595.

NISIDA, Vitor Coelho; FANTIN, Marcel (org.). **Agenda de ação climática de Diadema: diagnóstico socioterritorial - Plataforma UrbVerde**. São Carlos: IAU/USP, 2026. DOI: 10.11606/9788566624601.

NORMAN, Donald A. **The Design of Everyday Things**. Revised and expanded edition. New York: Basic Books, 2013.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

Capítulo 13 - Lições da UrbVerde para o WebSIG do século XXI: princípios, limites e agenda de desenvolvimento

A experiência da UrbVerde permite formular uma síntese propositiva para o WebSIG do século XXI. Depois de reconstruir a história dos SIG, discutir sua epistemologia, analisar a passagem do SIG de especialista ao SIG popular e interpretar a UrbVerde como laboratório aplicado, este capítulo sistematiza as principais lições que essa experiência oferece para a próxima geração de plataformas públicas de geoinformação. A pergunta que orienta o capítulo é simples: **o que aprendemos com a UrbVerde sobre como deve ser um WebSIG contemporâneo, socialmente útil, tecnicamente robusto e politicamente orientado à ação pública?**

A resposta não está em uma única tecnologia, interface, biblioteca de mapas ou modelo de dados. A UrbVerde mostra que o WebSIG do século XXI deve ser compreendido como uma **infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial**, formada por dados, métodos, indicadores, processamento, bancos geográficos, interfaces, materiais pedagógicos, usuários, instituições, políticas públicas e processos de monitoramento. A plataforma não vale apenas por aquilo que mostra na tela, mas pela cadeia de mediações que constrói entre produção científica, leitura territorial, ação pública e apropriação social (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003; LACERDA, 2025).

A própria formulação institucional da UrbVerde reforça esse sentido. O projeto é apresentado como uma iniciativa em rede voltada a transformar conhecimento técnico-científico em capacidade pública de ação climática, articulando Consórcio Intermunicipal Grande ABC, Prefeitura de Diadema, Instituto Pólis, USP, UFSCar, escolas, educadores, imprensa, organizações da sociedade civil e redes de cooperação técnica e científica relacionadas ao clima urbano, justiça socioambiental e infraestrutura verde. Essa descrição evidencia que a plataforma não é apenas um produto digital, mas um arranjo de produção, circulação e uso social da informação territorial (figura 99).

Figura 99 - 10 lições da UrbVerde



13.1. Primeira lição: o WebSIG deve partir de problemas públicos, não apenas de dados

A primeira lição da UrbVerde é que um WebSIG socialmente relevante não deve começar pela pergunta "quais dados temos?", mas pela pergunta "quais problemas públicos precisamos compreender e enfrentar?". Dados são indispensáveis, mas não bastam. Um WebSIG pode reunir centenas de camadas, mapas e indicadores e, ainda assim, produzir pouca inteligência territorial se não estiver orientado por problemas concretos de planejamento, gestão e justiça socioambiental.

A UrbVerde parte de problemas públicos claros: ilhas de calor, déficit de vegetação, desigualdade de acesso a parques e praças, impermeabilização do solo, riscos climáticos, vulnerabilidades socioambientais e necessidade de adaptação das cidades. Esses problemas dão sentido aos dados. Uma camada de temperatura de superfície, isoladamente, é uma informação ambiental; quando relacionada à renda, à vegetação, ao acesso a praças e à vulnerabilidade social, torna-se evidência territorial de injustiça climática.

Essa orientação aparece de maneira explícita no *Guia UrbVerde para Planos Locais de Ação Climática*, que propõe facilitar o uso de informações territoriais, ambientais e socioeconômicas para qualificar processos de planejamento e tomada de decisão, apoiando gestores na transformação de evidências territoriais em políticas integradas, viáveis e orientadas à justiça climática (COSTA; FANTIN, 2026).

Essa lição é ocupa um lugar central para o WebSIG do século XXI. A plataforma não deve ser organizada apenas por camadas disponíveis, mas por perguntas públicas. Onde há maior exposição ao calor? Quais bairros combinam baixa cobertura vegetal e alta vulnerabilidade social? Onde faltam praças? Quais áreas deveriam ser priorizadas em uma política de arborização? Como monitorar se uma

ação pública reduziu desigualdades territoriais? O WebSIG deve transformar dados em perguntas e perguntas em possibilidades de ação.

13.2. Segunda lição: a cadeia "dado–diagnóstico–plano–monitoramento" deve estruturar a plataforma

A segunda lição é que o WebSIG do século XXI precisa organizar uma cadeia completa de uso público da geoinformação. Essa cadeia pode ser sintetizada em quatro momentos: **dado, diagnóstico, plano e monitoramento**. O dado é a base empírica; o diagnóstico interpreta o território; o plano define ações, metas e prioridades; o monitoramento acompanha a implementação e avalia resultados.

Essa cadeia é uma das contribuições mais fortes da UrbVerde. A plataforma não se limita a disponibilizar mapas. Ela se conecta a guias metodológicos, agendas climáticas, diagnósticos socioterritoriais e painéis de políticas públicas. O resultado é uma estrutura que permite transformar informação territorial em instrumentos concretos de planejamento climático e urbano.

O documento de apresentação do projeto sintetiza essa lógica ao afirmar que a UrbVerde organiza uma cadeia de valor que vai do dado ao plano e do plano ao monitoramento, com linguagem acessível, funcionalidades de exportação e materiais didáticos voltados à gestão pública, à comunidade escolar e à sociedade civil. Essa formulação resume a diferença entre um visualizador cartográfico e um WebSIG como infraestrutura pública.

A cadeia também evita que o mapa seja tratado como produto final. No WebSIG social, o mapa é uma mediação. Ele ajuda a observar padrões, mas precisa ser convertido em diagnóstico. O diagnóstico ajuda a definir prioridades, mas precisa ser convertido em plano. O plano propõe ações, mas precisa ser acompanhado por indicadores e monitoramento. O monitoramento, por sua vez, retroalimenta a plataforma e permite revisão das políticas.

Essa estrutura é particularmente importante para políticas climáticas locais. O *Guia UrbVerde* afirma que a efetividade dos Planos Locais de Ação Climática não depende apenas de compromissos políticos ou estrutura formal, mas da capacidade de sustentar diagnósticos, decisões e monitoramento a partir de informações territoriais consistentes (COSTA; FANTIN, 2026). Assim, o WebSIG deixa de ser apoio periférico e passa a integrar o núcleo da governança climática municipal (figura 100).

Figura 100 - Plataforma estruturada pela cadeia dado–diagnóstico–plano–monitoramento



13.3. Terceira lição: interface é parte da metodologia

A terceira lição da UrbVerde é que a interface não deve ser tratada como acabamento visual, mas como parte da metodologia de democratização da geoinformação. A interface organiza a relação entre usuário, dado, indicador, mapa, gráfico e decisão. Ela pode aproximar ou afastar o usuário; pode tornar a informação compreensível ou opaca; pode favorecer a apropriação social ou reforçar a dependência de especialistas.

Essa lição aparece com força no trabalho de Vitor Lacerda. A monografia analisa a aplicação de princípios de Interação Humano-Computador em SIG para democratizar a análise de dados geoespaciais e superar a barreira técnica e científica que historicamente restringe seu uso a especialistas. A reestruturação da UrbVerde utilizou Design Thinking, Double Diamond, abordagens centradas no usuário, heurísticas de Nielsen, princípios da Gestalt, linguagem simples e humanismo de dados, com resultados positivos para usabilidade, clareza e engajamento dos usuários (LACERDA, 2025).

Essa experiência indica que a democratização da geoinformação exige uma engenharia da experiência. Não basta disponibilizar camadas em um mapa. É preciso pensar como o usuário chega até a informação, como escolhe um município, como ativa uma camada, como compreende uma legenda, como interpreta um indicador, como exporta um mapa, como compara territórios e como transforma aquela informação em decisão.

A interface é, portanto, uma mediação epistemológica. Ela não apenas apresenta o dado; ela orienta sua leitura. Um botão, uma legenda, um texto explicativo, uma paleta, uma hierarquia visual, um gráfico ou

um painel de indicadores não são detalhes. São elementos que influenciam diretamente a forma como o território será compreendido.

Essa lição tem implicações importantes. Todo WebSIG público deveria incorporar testes de usabilidade, escuta de usuários, acessibilidade, linguagem clara e design centrado em tarefas reais. A plataforma deve ser construída a partir das perguntas e dificuldades dos usuários, não apenas a partir da lógica dos especialistas ou dos desenvolvedores (figura 101).

Figura 101 - Interface como metodologia: dado técnico → linguagem pública



13.4. Quarta lição: democratizar não é simplificar de modo empobrecedor

A quarta lição é que democratizar a geoinformação não significa empobrecer a análise. Um WebSIG social deve ser acessível, mas não simplista. Deve falar com públicos não especializados, mas sem ocultar a complexidade dos métodos, dos indicadores e dos processos territoriais. A linguagem simples é uma estratégia de inclusão, não uma renúncia ao rigor.

Essa distinção é fundamental. Muitos sistemas técnicos permanecem fechados porque usam linguagem especializada demais. Por outro lado, muitas plataformas públicas simplificam tanto que perdem densidade analítica. O desafio do WebSIG do século XXI é construir **camadas de leitura**: uma primeira camada sintética e visual, voltada ao usuário geral; uma segunda camada explicativa, voltada a gestores, professores e estudantes; e uma terceira camada técnica, com metodologia, metadados, downloads e documentação, voltada a especialistas.

A UrbVerde oferece esse caminho ao combinar plataforma digital, cartilhas, guias, glossários, oficinas, materiais educativos e publicações em acesso aberto. O *Guia UrbVerde* afirma que foi concebido para

ser flexível, permitindo que municípios de diferentes portes, capacidades institucionais e disponibilidade de dados o utilizem de acordo com suas realidades (COSTA; FANTIN, 2026). Essa flexibilidade é um princípio importante: uma plataforma pública precisa reconhecer a diversidade dos usuários e das instituições.

A democratização também exige explicitar limites. Indicadores são representações. Uma temperatura de superfície não é a experiência integral do calor. Um índice de cobertura vegetal não substitui o conhecimento sobre qualidade da arborização, acesso público ou percepção dos moradores. Uma distância média a praças não explica sozinha segurança, manutenção ou usos cotidianos. Câmara, Monteiro e Medeiros alertam justamente para o risco da reificação geográfica, isto é, a tendência de tomar as estruturas computacionais como se fossem a própria realidade (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

Portanto, a democratização exige duas operações simultâneas: tornar a informação compreensível e preservar a consciência crítica sobre seus limites. O WebSIG social precisa ensinar a ler o mapa, mas também a desconfiar do mapa quando ele parece dizer tudo (quadro 18).

Quadro 18 - Tabela Analítica Democratizar sem Empobrecer: Camadas de Leitura

Camada de Leitura	Público-Alvo Principal	Foco do Conteúdo	Recursos, Ferramentas e Materiais Relacionados	Papel na Democratização / Visão Crítica
Camada 1: Sintética e Visual	Usuário Geral / Comunidade	Apresentação visual intuitiva, mapas-base rápidos e linguagem simples como estratégia de inclusão.	Mapas interativos na interface, legendas básicas, descrições simples e glossários de termos.	**Tornar compreensível:** Garante o primeiro acesso e quebra a barreira técnica inicial para o cidadão comum.
Camada 2: Explicativa	Gestores públicos, professores e estudantes	Interpretação territorial intermediária e aplicação contextualizada dos indicadores.	Cartilhas de orientação, guias didáticos da UrbVerde, oficinas, materiais educativos e pedagógicos.	**Instrumentalizar a gestão e educação:** Ensina a ler e a correlacionar os dados com o território sem jargões excessivos.
Camada 3: Técnica	Especialistas, pesquisadores e analistas de dados	Densidade analítica profunda, rigor metodológico e documentação científica integral.	Metadados detalhados, documentação técnica, downloads de bases oficiais e acesso aos dados brutos.	**Garantir o rigor e reprodutibilidade:** Evita o esvaziamento científico da plataforma e atende às exigências institucionais complexas.
Transversal: Consciência Crítica	Todos os usuários	Explicitação clara dos limites e das representações dos indicadores espaciais.	Alertas sobre o risco de *Reificação Geográfica* (Câmara et al., 2003); notas conceituais.	**Evitar a ilusão do mapa total:** Ensinar a ler o mapa, mas também a desconfiar dele, sabendo que o dado computacional não substitui a realidade empírica vivida.

Principais Fundamentos Aplicados na Estrutura

Flexibilidade Municipal: A combinação destas três camadas permite que municípios de diferentes portes e capacidades institucionais usem o WebSIG de acordo com suas próprias realidades físicas e humanas (Costa & Fantin, 2026).

Mediação Não-Simplista: O mapa deixa de ser o produto final estático e funciona como uma mediação pedagógica contínua, permitindo transitar livremente entre a visualização simples (Camada 1) e o aprofundamento metodológico.

13.5. Quinta lição: o WebSIG deve ser educativo

A quinta lição é que o WebSIG do século XXI deve ter função educativa. A UrbVerde mostra que uma plataforma de geoinformação pode ser também instrumento de educação territorial, educação climática e formação cidadã. Isso demonstra que a democratização da informação espacial não ocorre apenas pela abertura de dados, mas pela formação de sujeitos capazes de interpretar esses dados.

A cartilha *UrbVerde na Escola* expressa essa dimensão ao trabalhar temas como plataformas ambientais, cidades verdes, Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, ciência cidadã, mudanças climáticas, ilhas de calor, cobertura vegetal, praças, parques, desigualdade socioambiental, racismo ambiental e populações de risco (COSTA et al., 2024). Essa estrutura mostra que a plataforma pode ser usada como ferramenta pedagógica para discutir problemas concretos do território.

O WebSIG educativo aproxima o estudante de seu bairro e de sua cidade. Ele permite observar onde há mais calor, onde falta vegetação, onde estão os parques, quem tem acesso a espaços públicos, quais áreas são mais vulneráveis e que políticas poderiam enfrentar esses problemas. A geoinformação deixa de ser técnica distante e se transforma em linguagem de leitura do mundo.

Essa perspectiva dialoga com Paulo Freire, para quem a educação deve partir da leitura crítica da realidade e da capacidade dos sujeitos de compreenderem e transformarem o mundo em que vivem (FREIRE, 1987). Um WebSIG social pode ser instrumento freireano quando permite que estudantes, professores e comunidades interpretem criticamente seu território e formulem propostas de intervenção.

Mas a dimensão educativa não se limita à escola. Gestores públicos também precisam de formação para usar dados territoriais. Conselhos municipais, organizações sociais, jornalistas e movimentos territoriais também precisam compreender indicadores e mapas. O WebSIG educativo deve produzir materiais, oficinas, guias e tutoriais para diferentes públicos (figura 102).

Figura 102 - WebSIG educativo: escola, mapa, território, proposta de intervenção



13.6. Sexta lição: governança e institucionalização são tão importantes quanto tecnologia

A sexta lição é que a sustentabilidade de um WebSIG depende de governança e institucionalização. Uma plataforma pode ser tecnicamente sofisticada, mas fracassar se não tiver equipe, manutenção, financiamento, documentação, pactuação institucional e uso real por políticas públicas. O WebSIG do século XXI precisa ser pensado como infraestrutura viva, não como produto finalizado.

A experiência da UrbVerde evidencia essa dimensão. O projeto se desenvolveu no âmbito do Programa de Pesquisa em Políticas Públicas da FAPESP, com parceria entre IAU-USP, Instituto Pólis, Consórcio Intermunicipal Grande ABC e Prefeitura de Diadema, além de apoio do CNPq. O guia registra que essa parceria reuniu pesquisa e desenvolvimento da plataforma, atuação do Pólis em justiça socioambiental e direito à cidade, e o trabalho do Consórcio com prefeituras em agendas de planejamento urbano, clima e redução de desigualdades (COSTA; FANTIN, 2026).

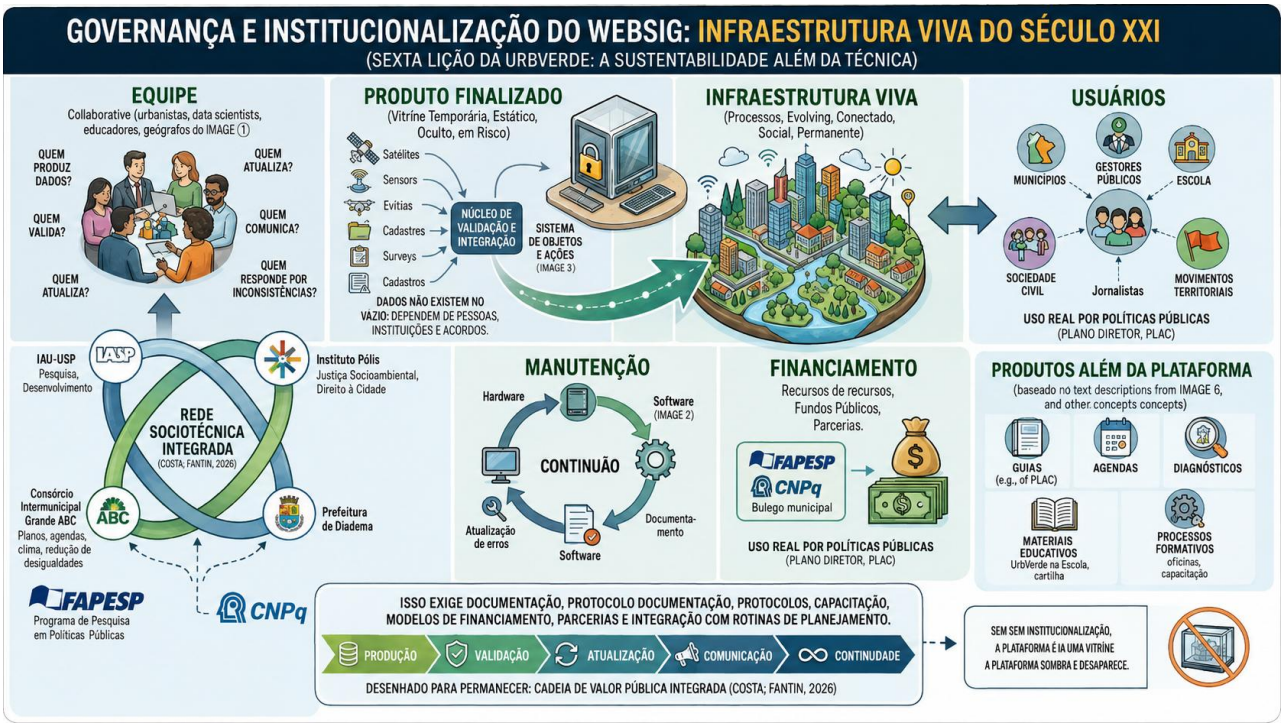
Essa rede é parte da plataforma. O código, os dados e os mapas são fundamentais, mas não existem no vazio. Eles dependem de pessoas, instituições, acordos, equipes técnicas, validação, comunicação e continuidade. A governança define quem produz dados, quem valida, quem atualiza, quem responde por inconsistências, quem dialoga com usuários e quem garante manutenção.

A institucionalização também aparece nos produtos da UrbVerde. O projeto não gerou apenas uma plataforma, mas guias, agendas, diagnósticos, indicadores, materiais educativos e processos formativos. O documento de candidatura ao Prêmio ANPARQ sintetiza essa contribuição ao afirmar que a UrbVerde articula leitura territorial com qualidade técnico-metodológica, tradução e acessibilidade, e

institucionalização por meio de guias, agendas, diagnósticos e indicadores que estruturam processos, e não apenas produtos.

Essa lição é estratégica. O WebSIG do século XXI deve ser desenhado para permanecer. Isso exige documentação, protocolos de atualização, capacitação de equipes, modelos de financiamento, parcerias institucionais e integração com rotinas de planejamento. Sem institucionalização, a plataforma corre o risco de se tornar vitrine temporária (figura 103).

Figura 103 - Governança e institucionalização do WebSIG



13.7. Sétima lição: dados abertos precisam de mediação pública

A sétima lição é que dados abertos são condição necessária, mas insuficiente. Abrir dados não garante que eles serão compreendidos, utilizados ou mobilizados socialmente. Muitas vezes, dados abertos permanecem restritos a especialistas porque exigem conhecimento técnico, softwares específicos, capacidade de processamento ou interpretação metodológica. A abertura precisa ser acompanhada de mediação pública.

A UrbVerde mostra que a mediação pode ocorrer por diferentes meios: mapas interativos, indicadores, textos explicativos, downloads, materiais didáticos, guias metodológicos, oficinas e painéis. A plataforma transforma dados ambientais e socioeconômicos em informações territorializadas e comunicáveis. Essa transformação é uma etapa fundamental da democratização.

A mediação pública também exige confiança. O usuário precisa saber de onde vêm os dados, como foram produzidos, que período representam, qual escala utilizam e quais limites possuem. Essa transparência metodológica é parte da ética do WebSIG. Sem ela, a plataforma pode produzir leituras equivocadas ou usos indevidos.

A literatura sobre inclusão digital ajuda a compreender esse ponto. Warschauer argumenta que o acesso à tecnologia não pode ser reduzido à disponibilidade física de equipamentos ou conexão, pois depende de condições sociais, culturais, educacionais e institucionais de uso significativo (WARSCHAUER, 2003). De modo análogo, o acesso a dados geográficos não é suficiente se o usuário não possui condições de compreendê-los e utilizá-los.

Assim, o WebSIG do século XXI deve ir além do dado aberto. Deve oferecer dado compreensível, dado contextualizado, dado acionável e dado politicamente útil. A abertura deve ser acompanhada de tradução, formação e participação (quadro 19).

Quadro 19 - Tabela Interativa de Correlação Sociotécnica

Eixo de Transformação	1. O Ponto de Partida: Dados Abertos *(Condição Necessária)*	2. A Ponte Conectora: Mediação Pública *(Condição de Suficiência)*	3. O Ponto de Chegada: Ciclo de Políticas *(Impacto Real)*
Apropriação Cognitiva e Linguagem	• Disponibilização de dados ambientais e socioeconômicos brutos. • Dependência de softwares específicos e capacidade de processamento.	• Criação de **mapas interativos**, **indicadores gerenciais** e **textos explicativos**. • Tradução de matrizes complexas em informação territorializada.	**DADO COMPREENSÍVEL** • Rompimento da barreira técnico-científica que restringe o conhecimento aos especialistas.
Capacitação e Inclusão Digital	• Existência física do dado em repositórios e servidores públicos. • Risco de exclusão por falta de letramento digital ou técnico.	• Desenvolvimento de **materiais didáticos**, **guias metodológicos** e **oficinas**. • Foco no uso significativo (social, cultural e educacional).	**DADO CONTEXTUALIZADO** • Inclusão digital real conforme o modelo de Warschauer (2003). • Empoderamento de atores locais.
Ética, Confiança e Governança	• Publicação de arquivos para download e metadados puros. • Risco de manipulação ou desinformação por falta de contexto.	• **Transparência metodológica ativa** (explicitar fontes, períodos, escalas e limites). • Construção de uma relação de confiança com o usuário.	**DADO ACIONÁVEL** • Mitigação de leituras urbanas equivocadas ou usos indevidos dos indicadores territoriais.
Mobilização e Agenda Pública	• Dados estáticos que permanecem inertes em portais de transparência. • Ausência de conexão com as demandas reais da população.	• Disponibilização de **painéis dinâmicos** (dashboards) orientados à ação. • Articulação entre formação técnica e participação popular.	**DADO POLITICAMENTE ÚTIL** • Mobilização social efetiva. • Formulação, implementação e controle social de planos locais e políticas climáticas.

Alerta

- **O Paradoxo da Disponibilidade:** O acesso à tecnologia e aos dados geográficos não se reduz à sua "disponibilidade física". Se a sociedade não possui condições estruturais para compreendê-los, o dado continua politicamente inacessível.
- **A Ética do WebSIG:** A mediação pública eficaz da UrbVerde não mascara as limitações do dado; pelo contrário, ela compartilha os limites, escalas e metodologias para blindar o debate público contra o uso indevido da informação.

13.8. Oitava lição: o WebSIG deve apoiar o ciclo completo das políticas públicas

A oitava lição é que o WebSIG social deve dialogar com todo o ciclo das políticas públicas. Ele não deve ficar restrito ao diagnóstico. Precisa apoiar formulação, priorização, implementação, monitoramento e avaliação. Essa é uma das principais contribuições da UrbVerde.

O *Guia UrbVerde* propõe um roteiro prático em três passos para apoiar a elaboração de Planos Locais de Ação Climática: diagnóstico, definição de eixos e ações, e montagem do plano. O documento afirma que o diagnóstico deve funcionar como uma leitura compartilhada da cidade, servindo de base para decisões políticas e diálogo com a sociedade (COSTA; FANTIN, 2026).

Assim, o diagnóstico não deve ser um relatório técnico isolado. Deve ser construção compartilhada. Isso significa que os dados do WebSIG precisam ser apresentados de modo que diferentes setores da administração e da sociedade possam debatê-los. A plataforma deve favorecer uma linguagem comum entre secretarias, técnicos, conselhos, universidades e comunidades.

Na formulação de ações, o WebSIG pode ajudar a definir prioridades territoriais. Se um município tem recursos limitados para arborização, onde começar? Se precisa ampliar praças, quais áreas são mais deficitárias? Se enfrenta ondas de calor, quais populações estão mais expostas? Se deseja monitorar um plano climático, que indicadores podem acompanhar avanços? O WebSIG não responde politicamente por essas decisões, mas oferece evidências para qualificá-las.

No monitoramento, a plataforma pode acompanhar se ações estão produzindo efeitos. Aumentou a cobertura vegetal? Reduziu a temperatura em áreas prioritárias? Melhorou o acesso a praças? As ações foram implementadas nos territórios mais vulneráveis? Esse tipo de acompanhamento fortalece a transparência e o controle social.

13.9. Nona lição: justiça socioambiental deve orientar a arquitetura do sistema

A nona lição é que justiça socioambiental não deve ser apenas tema de uma camada ou capítulo explicativo. Ela deve orientar a arquitetura do WebSIG. Isso significa que a plataforma precisa ser desenhada para revelar desigualdades, e não apenas fenômenos ambientais. A pergunta central não é apenas "onde há calor?", mas "quem sofre mais com o calor e por quê?". Não é apenas "onde há vegetação?", mas "quem tem acesso à vegetação?". Não é apenas "onde estão as praças?", mas "quais populações estão desassistidas por espaços públicos de qualidade?".

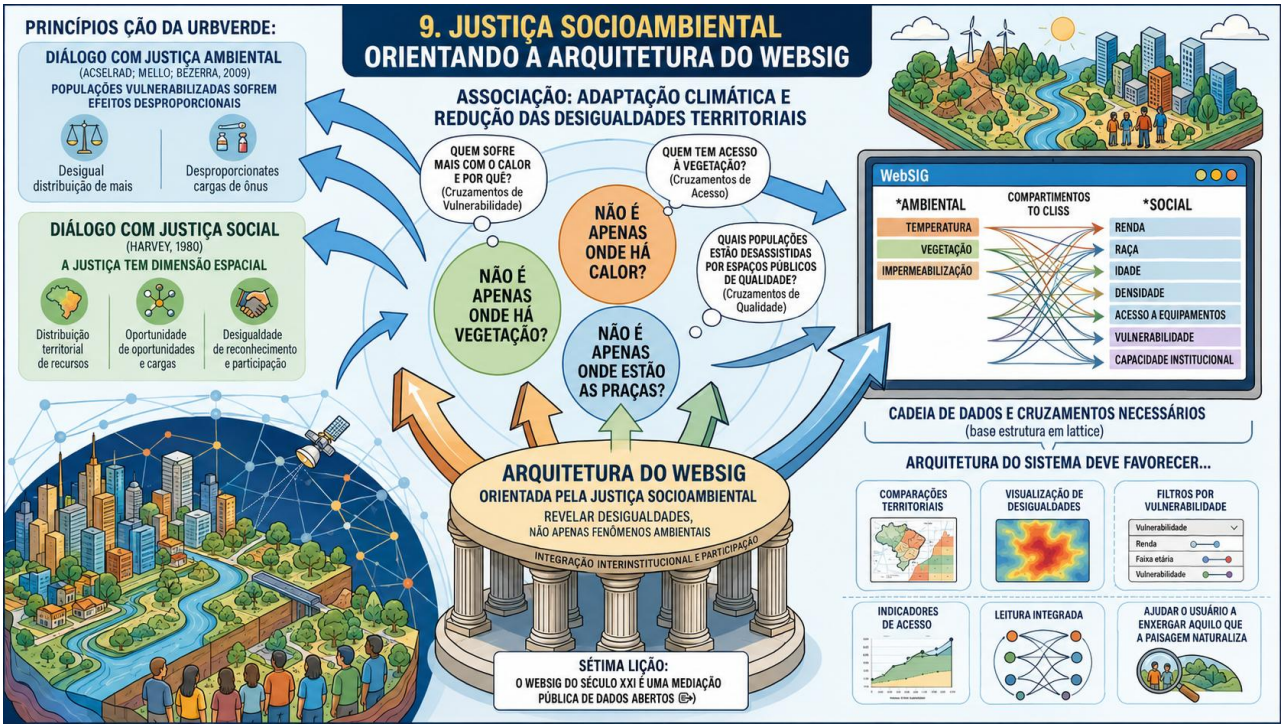
A UrbVerde se constrói nesse horizonte ao associar adaptação climática e redução das desigualdades territoriais. O próprio título do projeto FAPESP - "Políticas Públicas para Qualificação Territorial Orientada à Adaptação Climática e Redução das Desigualdades" - indica que a plataforma nasce vinculada a uma agenda de justiça socioambiental.

Essa orientação dialoga com a literatura de justiça ambiental, que mostra como populações vulnerabilizadas tendem a sofrer de modo desproporcional os efeitos da degradação ambiental e da ausência de infraestrutura (ACSELRAD; MELLO; BEZERRA, 2009). Dialoga também com Harvey, para quem a justiça social possui dimensão espacial e depende da forma como recursos, oportunidades e ônus são distribuídos no território (HARVEY, 1980).

Na prática, essa lição exige que o WebSIG integre dados ambientais e sociais. Temperatura, vegetação e impermeabilização precisam ser lidas em relação a renda, raça, idade, densidade, acesso a equipamentos, vulnerabilidade e capacidade institucional. A justiça socioambiental não aparece em uma camada isolada; ela emerge do cruzamento entre dimensões.

A arquitetura do sistema deve favorecer esses cruzamentos. Deve permitir comparações territoriais, visualização de desigualdades, filtros por vulnerabilidade, indicadores de acesso e leitura integrada. A plataforma deve ajudar o usuário a enxergar aquilo que a paisagem naturaliza (figura 104).

Figura 104 - Mapa conceitual: justiça socioambiental orientando a arquitetura Mostrar cruzamentos necessários



13.10. Décima lição: o WebSIG precisa reconhecer seus próprios limites

A décima lição é que o WebSIG social deve ser crítico sobre seus próprios limites. A UrbVerde mostra a potência da geoinformação, mas também evidencia que nenhuma plataforma substitui trabalho de campo, escuta social, conhecimento local, deliberação política ou capacidade administrativa. O WebSIG é mediação, não solução total.

Essa advertência é fundamental para evitar tecnocratismo. Um mapa de calor pode indicar áreas prioritárias, mas não define sozinho a política de adaptação. Um indicador de vegetação pode revelar déficit, mas não substitui o debate sobre uso do solo, manutenção, espécies arbóreas, desenho urbano ou apropriação social. Um diagnóstico pode organizar evidências, mas a ação exige orçamento, pactuação, cronograma, responsabilidades e controle social.

Câmara, Monteiro e Medeiros lembram que computadores são ferramentas de representação da realidade, e que estruturas de dados e algoritmos condicionam as formas de expressão dos problemas geográficos (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). Essa advertência vale plenamente para a UrbVerde. Seus indicadores são aproximações metodológicas de fenômenos complexos. São extremamente úteis, mas não esgotam a realidade.

Reconhecer limites não enfraquece a plataforma; fortalece sua credibilidade. Um WebSIG público deve apresentar fontes, métodos, incertezas e restrições. Deve indicar quando um dado é estimado, quando a escala exige cautela, quando um indicador deve ser complementado por trabalho de campo e quando a interpretação exige conhecimento local.

O WebSIG do século XXI será mais democrático quanto mais transparente for sobre aquilo que pode e aquilo que não pode dizer (quadro 20).

Quadro 20 - O que o WebSIG pode e não pode fazer

Evitando o tecnocratismo: o WebSIG como mediação qualificada, não como solução totalizante.

Dimensão de Análise	O que o WebSIG PODE fazer *(Potência da Geoinformação)*	O que o WebSIG NÃO PODE fazer *(Limites e Antídoto ao Tecnocratismo)*
Análise Térmica e de Risco	• Indicar com clareza geográfica as áreas urbanas prioritárias para intervenção. • Evidenciar espacialmente as ilhas de calor e vulnerabilidades territoriais.	• Definir sozinho ou de forma automatizada a política de adaptação climática de um município. • Substituir a pactuação humana sobre direitos, conflitos e prazos de intervenção.
Diagnóstico Ambiental	• Revelar com precisão métrica os déficits de cobertura vegetal nas malhas urbanas. • Organizar evidências socioambientais integradas e comparáveis.	• Substituir o debate democrático e técnico sobre o uso do solo. • Decidir sobre a manutenção das áreas, escolha de espécies arbóreas, desenho urbano ou apropriação social.
Representação Computacional	• Oferecer aproximações metodológicas extremamente úteis de fenômenos complexos da cidade. • Estruturar dados e algoritmos para tornar problemas geográficos inteligíveis.	• Esgotar a complexidade da realidade viva do território. • Eliminar o condicionamento inerente às escolhas de estruturas de dados (Câmara, Monteiro e Medeiros, 2003).
Planejamento Prático e Ação	• Diagnosticar vulnerabilidades e orientar o rumo das decisões de planejamento. • Funcionar como uma infraestrutura sociotécnica viva de mediação da informação.	• Substituir as condições reais da ação pública: orçamento, pactuação política, cronogramas físicos e responsabilidades legais. • Eliminar a necessidade de controle social ativo.
Trabalho e Conhecimento Local	• Processar grandes massas de informação satelitária e alfanumérica em rede. • Cruzar bases censitárias com dados físicos globais e locais.	• Substituir a necessidade vital do trabalho de campo presencial. • Dispensar a escuta social qualificada das comunidades e o acúmulo do conhecimento local.
Credibilidade e Ética	• Explicitar com transparência ativa as fontes utilizadas, os métodos aplicados e as escalas de análise. • Apresentar restrições, estimativas e incertezas métricas.	• Blindar-se contra usos indevidos ou leituras urbanas equivocadas se operar de modo opaco. • Simular uma falsa infalibilidade técnica ou neutralidade ideológica.

Síntese da Lição Antitecnocrática

1. Como aponta a obra, o risco tecnocrático reside em **confundir a representação computacional com a própria realidade**, transformando o mapa em uma resposta fechada e inquestionável.

2. Ao explicitar o que a plataforma *pode* e *não pode* fazer, o WebSIG não enfraquece suas capacidades; pelo contrário, ele constrói uma relação de credibilidade com a sociedade civil e com o gestor público. O sistema atua para **qualificar e embasar a deliberação política através de evidências territoriais**, mas deixa claro que a transformação real das cidades sempre dependerá do orçamento, da escuta social, da administração pública e do conflito democrático saudável.

13.11. Da UrbVerde a uma agenda para o WebSIG do século XXI

A partir dessas lições, é possível formular uma agenda para o WebSIG do século XXI. Essa agenda não é apenas tecnológica; é epistemológica, institucional, comunicacional e política.

Do ponto de vista técnico, o WebSIG deve ser escalável, interoperável, documentado, atualizado e capaz de trabalhar com dados raster, vetoriais, bancos espaciais, APIs e processamento em nuvem. Deve permitir downloads, metadados, versionamento e integração com outros sistemas.

Do ponto de vista epistemológico, deve reconhecer que seus mapas e indicadores são representações parciais. Deve evitar reificação, explicitar métodos e articular diferentes concepções de espaço: unidade territorial, superfície, rede, fluxo, lugar, vulnerabilidade e processo social.

Do ponto de vista comunicacional, deve adotar linguagem simples, design centrado no usuário, acessibilidade, visualizações claras, glossários, tutoriais e materiais pedagógicos. Deve ser compreensível para públicos diversos, sem perder rigor.

Do ponto de vista institucional, deve ter governança, equipe, financiamento, manutenção e parcerias. Deve ser incorporado a rotinas de planejamento, formação e monitoramento. Deve produzir processos, não apenas produtos.

Do ponto de vista político, deve estar comprometido com justiça socioambiental, adaptação climática, direito à cidade, participação social e fortalecimento das políticas públicas. Deve ajudar a transformar desigualdades invisibilizadas em problemas públicos debatíveis e enfrentáveis.

Essa agenda é a principal contribuição que a experiência da UrbVerde oferece ao livro. Ela mostra que o WebSIG do século XXI não será definido apenas por sua tecnologia, mas pela qualidade de sua mediação entre dados, sociedade e ação pública (figura 105).

Figura 105 - Agenda para o WebSIG do século XXI



13.12. Considerações finais

A UrbVerde permite aprender que o WebSIG do século XXI deve ser, antes de tudo, uma infraestrutura pública de mediação territorial. Seu papel não é apenas mostrar mapas, mas construir uma cadeia de inteligência que permita transformar dados em diagnósticos, diagnósticos em planos, planos em ações e ações em monitoramento.

As lições sistematizadas neste capítulo indicam que o WebSIG não é apenas uma plataforma digital. É um arranjo técnico, social, institucional e político. Ele depende de computação, bancos de dados, sensoriamento remoto e interfaces, mas também de educação, participação, governança, justiça territorial e políticas públicas.

O desafio dos próximos anos é transformar essa experiência em agenda mais ampla. Em um mundo marcado por crise climática, desigualdades urbanas e disputas territoriais, a geoinformação só cumpre plenamente sua função quando ajuda diferentes sujeitos a compreender o espaço e a transformá-lo com justiça.

Referências bibliográficas

ACSELRAD, Henri; MELLO, Cecília Campello do Amaral; BEZERRA, Gustavo das Neves. **O que é justiça ambiental**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

COSTA, Marcela Fernandes da; FANTIN, Marcel (org.). **Do mapa à ação: Guia UrbVerde para Planos Locais de Ação Climática**. São Carlos: IAU/USP, 2026. DOI: 10.11606/9788566624588.

COSTA, Marcela Fernandes da et al. (org.). **UrbVerde na escola**. São Carlos: IAU/USP, 2024. DOI: 10.11606/9788566624427.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GORELICK, Noel et al. **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone**. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017.

HARVEY, David. **A justiça social e a cidade**. São Paulo: Hucitec, 1980.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

NIELSEN, Jakob. **10 Usability Heuristics for User Interface Design**. Nielsen Norman Group, 1994.

NORMAN, Donald A. **The Design of Everyday Things**. Revised and expanded edition. New York: Basic Books, 2013.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

WARSCHAUER, Mark. **Technology and Social Inclusion: Rethinking the Digital Divide**. Cambridge: MIT Press, 2003.

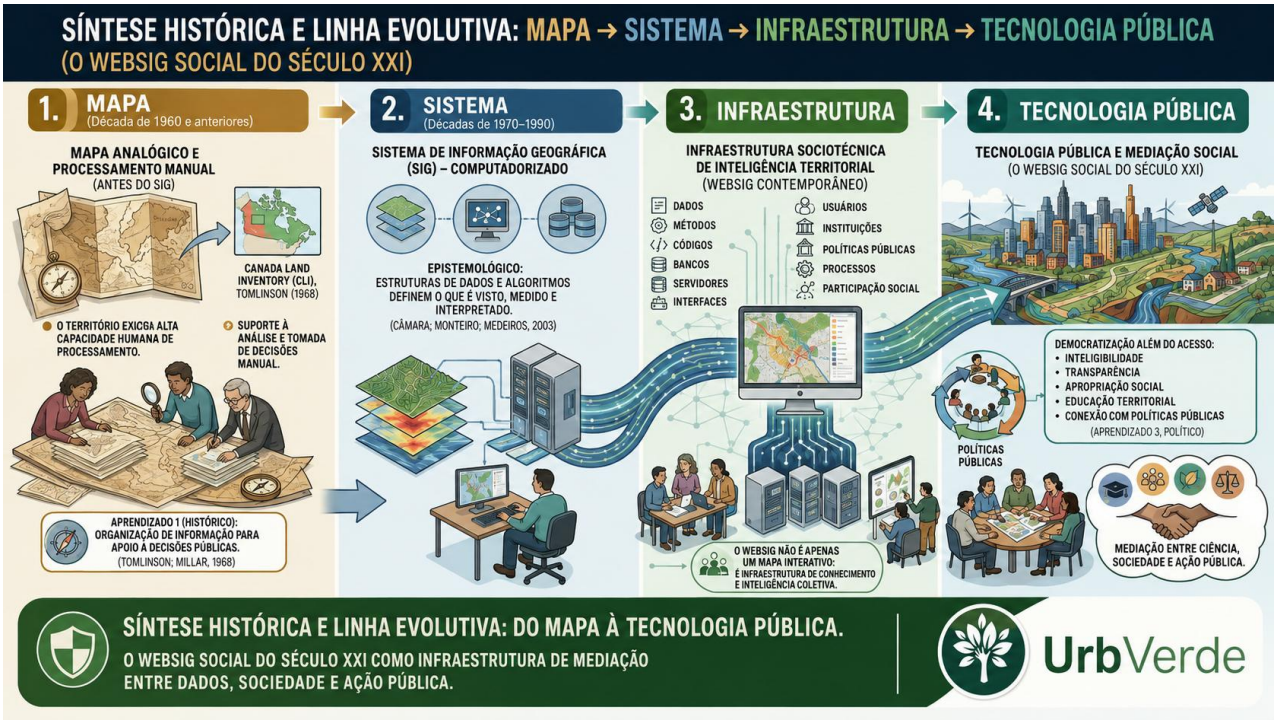
Capítulo 14 - Conclusão: o WebSIG do século XXI como tecnologia pública de inteligência territorial

Ao longo deste livro, procuramos reconstruir a trajetória dos Sistemas de Informação Geográfica desde sua origem moderna, nos anos 1960, até sua transformação contemporânea em plataformas web, públicas, interativas e orientadas a políticas territoriais. Essa trajetória não é apenas técnica. Ela expressa mudanças profundas nas formas de representar, processar, interpretar e governar o espaço. O SIG nasceu quando o território excedeu a capacidade humana de processamento manual; o WebSIG do século XXI emerge quando a sociedade precisa transformar grandes volumes de dados territoriais em conhecimento público, crítico e acionável.

A tese central defendida neste livro é que o WebSIG contemporâneo não deve ser entendido apenas como um mapa interativo publicado na internet. Ele deve ser compreendido como uma **infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial**, capaz de articular dados, métodos, códigos, bancos, servidores, interfaces, usuários, instituições, políticas públicas e processos de participação social. Essa concepção desloca o WebSIG do campo restrito da visualização cartográfica para o campo mais amplo da mediação entre ciência, sociedade e ação pública.

Essa conclusão retoma três aprendizados fundamentais. O primeiro é histórico: desde o *Canada Land Inventory* e o trabalho pioneiro de Roger Tomlinson, os SIG estiveram ligados à necessidade de organizar grandes massas de informação territorial para apoiar decisões públicas (TOMLINSON, 1968; MILLAR, 1968). O segundo é epistemológico: todo SIG carrega uma teoria do espaço, pois as estruturas de dados, os algoritmos e os modelos computacionais definem aquilo que pode ser visto, medido e interpretado (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). O terceiro é político: a democratização da geoinformação exige mais do que acesso a mapas; exige inteligibilidade, transparência, apropriação social, educação territorial e conexão com políticas públicas (figura 106).

Figura 106 - Síntese histórica e linha evolutiva: Mapa → sistema → infraestrutura → tecnologia pública



14.1. Do mapa ao sistema, do sistema à infraestrutura

A história dos SIG pode ser lida como uma sequência de deslocamentos. O primeiro deslocamento foi do mapa em papel ao sistema de informação. O mapa deixou de ser apenas produto final da cartografia e passou a integrar bancos de dados, modelos, atributos, geometrias, cálculos, consultas e procedimentos analíticos. Essa passagem alterou a própria natureza da cartografia: o mapa tornou-se interface de um sistema, e não apenas imagem estabilizada do território (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

O segundo deslocamento foi do sistema de especialista ao sistema socialmente disseminado. Com a microinformática, os SIG desktop, a internet, os WebSIGs, a geoweb, o Google Maps e o Google Earth, a informação espacial deixou de circular apenas entre especialistas e passou a fazer parte da vida cotidiana. Milhões de pessoas se familiarizaram com mapas digitais, rotas, imagens de satélite, localização e navegação. No entanto, essa popularização não eliminou a barreira técnico-científica da geoinformação, pois navegar por mapas não é o mesmo que interpretar criticamente o território (GOODCHILD, 2007; LACERDA, 2025).

O terceiro deslocamento - ainda em construção - é do WebSIG como plataforma cartográfica ao WebSIG como infraestrutura sociotécnica. Nesse estágio, o desafio não é apenas disponibilizar dados, mas construir condições para que diferentes usuários possam compreender, comparar, interpretar e mobilizar informações territoriais. A plataforma deixa de ser apenas lugar de visualização e passa a ser ambiente de diagnóstico, mediação, monitoramento e apoio à decisão pública.

Essa noção de infraestrutura é fundamental. Uma infraestrutura não é apenas uma ferramenta isolada. Ela é um arranjo contínuo, sustentado por tecnologias, instituições, padrões, rotinas, equipes e práticas sociais. Star e Ruhleder (1996) mostram que infraestruturas são sistemas relacionais: tornam-se visíveis quando falham, dependem de comunidades de prática e se integram a rotinas sociais. O WebSIG do século XXI deve ser compreendido dessa forma: não como produto acabado, mas como infraestrutura viva de produção e circulação de inteligência territorial.

14.2. O espaço não cabe inteiro em um SIG

Um dos principais argumentos epistemológicos deste livro é que o espaço geográfico não cabe integralmente dentro de um SIG. O que cabe são representações parciais: pontos, linhas, polígonos, grades, superfícies, redes, atributos, indicadores, modelos, fluxos e eventos. Essas representações são poderosas, mas não equivalem à realidade. Elas selecionam dimensões do território e deixam outras de fora.

Câmara, Monteiro e Medeiros (2003) alertam justamente para esse risco ao discutir a reificação geográfica: a tendência de tomar a estrutura computacional como se fosse a própria realidade. Um polígono não é o bairro; uma camada de temperatura não é a experiência social do calor; um indicador de cobertura vegetal não é a totalidade da relação entre população, arborização, sombra, lazer, ecologia e política urbana. Toda representação computacional é uma mediação.

Essa limitação não diminui a importância dos SIG. Ao contrário, torna seu uso mais rigoroso. O problema não é representar parcialmente o território, pois toda ciência opera por recortes e modelos. O problema é esquecer que se trata de representação. Um WebSIG crítico precisa explicitar seus métodos, suas escalas, seus limites, suas fontes e suas incertezas. Precisa evitar a falsa transparência dos mapas.

A contribuição de Milton Santos é fundamental nesse ponto. Se o espaço é um conjunto indissociável de sistemas de objetos e sistemas de ações, então o WebSIG não pode se limitar à representação de objetos espaciais. Precisa aproximar, ainda que de modo parcial, ações, processos, fluxos, usos, normas, desigualdades e políticas públicas (SANTOS, 1996). O WebSIG social nasce dessa tensão entre aquilo que pode ser representado computacionalmente e aquilo que precisa ser interpretado socialmente (quadro 21).

Quadro 21 - Tabela de Correlação: Representação Computacional vs. Realidade Territorial

O Princípio Fundamental: O espaço geográfico não cabe integralmente dentro de um SIG; o que o computador armazena são representações parciais que selecionam dimensões do território e deixam outras de fora. O WebSIG social nasce justamente da tensão entre aquilo que pode ser representado computacionalmente e aquilo que precisa ser interpretado socialmente.

Elemento Geográfico	A Representação Parcial no SIG *(O que cabe no sistema / Sistemas de Objetos)*	A Realidade Territorial Viva *(O que exige interpretação / Sistemas de Ações)*	O Erro Tecnocêntrico *(O Risco da Reificação)*
O Território e Divisões	• Pontos, linhas, polígonos, grades e atributos alfanuméricos. • Desenho vetorial de perímetros urbanos.	• Espaço como conjunto indissociável de sistemas de objetos e de ações. • Usos, normas, fluxos e políticas públicas.	• **Esquecer que o polígono não é o bairro**. • Tratar o limite administrativo do mapa como o limite da identidade real da comunidade.
O Clima Urbano	• Camadas de temperatura de superfície obtidas por satélite. • Superfícies térmicas e matrizes raster.	• A experiência social do calor no cotidiano das pessoas. • O impacto da temperatura na saúde e a vulnerabilidade social nas periferias.	• **Acreditar que a camada de temperatura esgota a experiência do calor**. • Ignorar as condições de moradia e a vulnerabilidade do corpo humano.
A Infraestrutura Verde	• Indicadores numéricos de cobertura vegetal (ex: NDVI). • Modelos de manchas verdes mapeadas digitalmente.	• A totalidade das relações urbanas, ecologia local, áreas de lazer e sombra real. • A disputa política pela manutenção das árvores e desenho urbano.	• **Tomar o indicador de vegetação pela totalidade da relação socioambiental**. • Desconsiderar se a praça mapeada verde é segura, acessível ou utilizável.
A Modelagem Científica	• Algoritmos, modelos preditivos, fluxos digitais e eventos espaciais. • Estruturas computacionais que condicionam a expressão dos problemas.	• Fenômenos urbanos complexos, dinâmicas de desigualdade e injustiça socioambiental. • A imprevisibilidade das dinâmicas sociais reais.	• **Tomar a estrutura computacional como se fosse a própria realidade** (Câmara, Monteiro e Medeiros, 2003). • Confiar cegamente na infalibilidade dos algoritmos.

Postura Crítica e Rigor do WebSIG do Século XXI

Os Antídotos contra a Falsa Transparência dos Mapas: Reconhecer essas limitações não enfraquece o papel do SIG - pelo contrário, torna o seu uso cientificamente mais rigoroso. Toda ciência opera por meio de recortes e modelos; o erro fatal reside em esquecer que o mapa é um recorte modelado.

Para que a plataforma mantenha sua ética e utilidade democrática, ela é obrigada a expor de forma transparente:

1. **Suas Fontes:** De onde vieram as informações originais.
2. **Seus Métodos:** Como as camadas foram matematicamente calculadas.
3. **Suas Escalas:** Até onde o zoom do mapa mantém a precisão científica saudável.
4. **Suas Incertezas e Limites:** Explicitar claramente o que o dado está apenas estimando e o que ele deixa de fora.

14.3. O WebSIG como mediação entre ciência, sociedade e política

A conclusão mais importante deste percurso é que o WebSIG do século XXI deve ser pensado como mediação. Ele media dados científicos e problemas públicos; especialistas e usuários; mapas e políticas; indicadores e ações; diagnóstico e monitoramento; universidade e sociedade; técnica e democracia.

Essa mediação exige rigor técnico. Dados precisam ser confiáveis, atualizados, documentados e processados com método. Bancos espaciais, APIs, padrões de interoperabilidade, metadados, versionamento, computação em nuvem e infraestrutura de servidores são componentes indispensáveis. Sem eles, a plataforma perde consistência, escalabilidade e credibilidade (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; GORELICK et al., 2017).

Mas a mediação também exige clareza comunicacional. Usabilidade, acessibilidade, linguagem simples, visualização de dados, design centrado no usuário, testes com usuários e humanismo de dados não são elementos periféricos. São condições para que a informação territorial seja apropriada socialmente. Como demonstrou Lacerda (2025), a reestruturação da UrbVerde evidenciou que a Interação Humano-Computador pode reduzir a barreira técnico-científica que historicamente separou especialistas e usuários.

Por fim, a mediação exige orientação política. Um WebSIG público não deve apenas mostrar dados; deve ajudar a enfrentar problemas. Deve estar conectado a planos, metas, ações, instrumentos normativos, monitoramento e participação social. A informação territorial só se torna inteligência pública quando ajuda a orientar decisões, qualificar debates e ampliar a capacidade social de intervir sobre o território (figura 107).

Figura 107 - WebSIG como mediação entre ciência, sociedade e política



14.4. A UrbVerde como síntese e experiência em construção

A UrbVerde foi tomada neste livro como laboratório porque permite observar, em uma experiência concreta, muitos dos desafios do WebSIG do século XXI. Ela articula dados socioambientais, sensoriamento remoto, processamento em nuvem, indicadores, banco de dados, interface pública, educação territorial, materiais didáticos, guias metodológicos, diagnósticos climáticos e diálogo com políticas públicas.

Sua importância não está apenas na plataforma digital, mas na cadeia que ela permite construir: dado, diagnóstico, plano e monitoramento. Essa cadeia sintetiza uma nova função para os WebSIGs públicos. O mapa deixa de ser ponto final e passa a ser início de uma sequência de interpretação e ação. O indicador não é apenas medida; é mediação entre fenômeno e política. O diagnóstico não é apenas relatório; é base para prioridade pública. O monitoramento não é apenas avaliação; é condição de aprendizagem institucional.

A experiência da UrbVerde também mostra que a democratização da geoinformação exige materiais de apoio, formação, oficinas, linguagem acessível e diálogo com escolas, gestores e sociedade civil. A cartilha *UrbVerde na Escola* indica o potencial educativo da plataforma ao aproximar estudantes da leitura crítica de seus territórios (COSTA et al., 2024). O *Guia UrbVerde para Planos Locais de Ação Climática* mostra como informações territoriais podem apoiar diagnósticos, ações climáticas e processos de planejamento municipal (COSTA; FANTIN, 2026).

Ao mesmo tempo, a UrbVerde mostra que todo WebSIG público enfrenta desafios permanentes: atualização de dados, escalabilidade, financiamento, manutenção, governança, documentação, acessibilidade, interpretação adequada dos indicadores e institucionalização nas rotinas de planejamento. O WebSIG do século XXI não é uma entrega final; é uma infraestrutura em desenvolvimento contínuo (figura 108).

Figura 108 - UrbVerde como síntese em construção



14.5. A justiça territorial como horizonte

A defesa de um WebSIG social só faz sentido se estiver orientada por um horizonte de justiça territorial. Dados geográficos não são neutros em seus usos. Podem servir à vigilância, à valorização imobiliária, ao controle tecnocrático e à reprodução de desigualdades. Mas também podem servir à transparência, à participação, à educação territorial, ao planejamento público e à justiça socioambiental.

A justiça ambiental ensina que populações vulnerabilizadas tendem a sofrer de forma desproporcional os efeitos da degradação ambiental, dos riscos e da ausência de infraestrutura (ACSELRAD; MELLO; BEZERRA, 2009). A justiça social urbana, por sua vez, exige compreender como recursos, oportunidades e ônus se distribuem no espaço (HARVEY, 1980). O WebSIG social deve tornar essas desigualdades visíveis, comparáveis e debatíveis.

No contexto da crise climática, essa orientação torna-se ainda mais urgente. Ilhas de calor, enchentes, ausência de vegetação, impermeabilização excessiva, déficit de praças, exposição a riscos e vulnerabilidade socioeconômica não são apenas problemas ambientais. São expressões territoriais de desigualdades históricas. O IPCC (2023) reforça que a adaptação climática eficaz depende de informação local, governança, participação e consideração das desigualdades sociais.

O WebSIG do século XXI deve, portanto, estar a serviço de uma leitura territorial comprometida com a redução de desigualdades. Ele deve permitir perguntar: quem tem acesso à vegetação? Quem está mais exposto ao calor? Quem vive distante de praças e parques? Que territórios devem ser priorizados?

Que políticas podem reduzir vulnerabilidades? Como monitorar se as ações públicas estão diminuindo ou reproduzindo desigualdades?

14.6. Princípios para o WebSIG do século XXI

A partir do percurso desenvolvido neste livro, é possível formular um conjunto de princípios para o WebSIG do século XXI (figura 109).

1. O primeiro princípio é o **rigor metodológico**. Dados, indicadores e mapas devem ser produzidos com métodos claros, documentados e auditáveis. A plataforma deve explicitar fontes, períodos, escalas, limitações e incertezas.

2. O segundo princípio é a **inteligibilidade pública**. A informação deve ser compreensível para usuários não especialistas, por meio de linguagem simples, legendas claras, glossários, textos explicativos, tutoriais e visualizações adequadas.

3. O terceiro princípio é a **centralidade do usuário**. A plataforma deve ser construída a partir das necessidades reais de gestores, professores, estudantes, pesquisadores, jornalistas, movimentos sociais e cidadãos. Design centrado no usuário, testes de usabilidade e acessibilidade devem integrar o processo de desenvolvimento (NIELSEN, 1993; NORMAN, 2013).

4. O quarto princípio é a **transparência epistemológica**. O WebSIG deve reconhecer que seus mapas são representações, e não a própria realidade. Deve combater a reificação geográfica e estimular leitura crítica dos dados (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003).

5. O quinto princípio é a **conexão com políticas públicas**. Indicadores devem dialogar com planos, metas, ações, monitoramento, avaliação e instrumentos de gestão. O WebSIG deve apoiar o ciclo completo das políticas públicas.

6. O sexto princípio é a **justiça territorial**. A arquitetura da plataforma deve favorecer a identificação de desigualdades socioambientais e apoiar políticas de redução de vulnerabilidades.

7. O sétimo princípio é a **educação territorial**. O WebSIG deve formar leitores críticos do território, contribuindo para escolas, universidades, formações de gestores e processos participativos.

8. O oitavo princípio é a **governança e sustentabilidade**. Plataformas públicas exigem equipe, financiamento, documentação, atualização, manutenção e pactuação institucional.

9. O nono princípio é a **participação social**. Usuários devem ser tratados não apenas como consumidores de mapas, mas como sujeitos capazes de produzir conhecimento, validar interpretações, formular demandas e participar da transformação territorial (GOODCHILD, 2007; ELWOOD; GOODCHILD; SUI, 2012).

10. O décimo princípio é a **orientação à ação**. O WebSIG deve ajudar a passar do mapa ao diagnóstico, do diagnóstico ao plano, do plano ao monitoramento e do monitoramento à revisão das políticas.

Figura 109 - Princípios do WebSIG do século XXI



14.7. O WebSIG não substitui a política

Apesar de sua potência, o WebSIG não substitui a política. Esta talvez seja a advertência final mais importante. Uma plataforma pode revelar desigualdades, indicar prioridades e apoiar diagnósticos, mas não decide sozinha. A ação pública depende de instituições, orçamento, legislação, pactuação, conflitos, participação e responsabilidade democrática.

O risco tecnocrático aparece quando se imagina que bons dados resolvem automaticamente problemas públicos. Dados ajudam, mas não decidem. Mapas orientam, mas não governam. Indicadores informam, mas não executam políticas. O WebSIG deve fortalecer a deliberação pública, não substituí-la por uma aparência de neutralidade técnica.

Isso é particularmente importante em temas sensíveis, como risco, vulnerabilidade, habitação, meio ambiente e adaptação climática. Uma camada pode indicar áreas prioritárias, mas a intervenção sobre essas áreas envolve direitos, conflitos, moradores, recursos, prazos e disputas. O WebSIG social deve apoiar decisões mais informadas e justas, mas sempre dentro de processos democráticos.

A geoinformação pública deve, portanto, ser entendida como instrumento de qualificação da política. Sua função é ampliar a capacidade social de ver, comparar, discutir e monitorar o território. Ela não elimina a política; torna a política mais responsável diante das evidências territoriais (quadro 22).

Quadro 22 - Matriz de Alerta: Limite Técnico vs. Realidade Política

Dimensão Crítica	O que a Geoinformação Entrega *(Potência Técnico-Informativa)*	O que a Ação Pública Exige *(Realidade Institucional e Política)*	O Alerta Tecnocrático *(A Ilusão da Neutralidade)*
Decisão Urbana e Governança	• Revela desigualdades socioespaciais. • Indica prioridades territoriais. • Apoia a construção de diagnósticos robustos.	• Funcionamento das instituições. • Previsão e execução de **orçamento**. • Criação de legislação e pactuação pactuada.	• **Acreditar que a plataforma decide sozinha**. • Supor que a existência do dado anula a necessidade de articulação institucional.
Temas Sensíveis *(Risco, Clima, Habitação, Meio Ambiente)*	• Mapeia com exatidão vetorial as áreas vulneráveis. • Modela espacialmente o impacto da adaptação climática.	• Mediação e garantia de **direitos**. • Gestão de disputas e escuta dos moradores. • Definição de recursos financeiros e prazos reais.	• **Tratar problemas sociais complexos como equações puramente técnicas**. • Ignorar que intervir no espaço físico envolve conflitos de interesse e disputas legítimas.
Deliberação Popular	• Oferece indicadores inteligíveis para a sociedade civil. • Traduz variáveis complexas em telas visualizáveis.	• Canais abertos de participação popular. • Mediação de conflitos inerentes à democracia. • Exercício pleno da responsabilidade democrática.	• **Esconder escolhas políticas sob uma "aparência de neutralidade técnica"**. • Usar o mapa para sufocar o debate em vez de fortalecê-lo.
Finalidade do Sistema	• Amplia a capacidade social de **ver, comparar, discutir e monitorar** o território.	• Condução de processos de tomada de decisão mais informados, transparentes e justos.	• **Imaginar que a geoinformação elimina a política**. • Esquecer que seu verdadeiro papel é apenas tornar a política mais responsável diante das evidências territoriais.

Conclusão epistemológica da Plataforma

O WebSIG social não foi desenhado para fechar discussões, mas para **qualificar o ponto de partida do debate público**. Quando uma prefeitura ou comunidade utiliza o mapa, ela ganha um espelho nítido das desigualdades da cidade, mas as soluções para essas desigualdades continuarão exigindo orçamento, negociação coletiva, assembleias e a imprevisível (porém indispensável) arena da disputa democrática. **Assim, a geoinformação deve ser vista como instrumento de qualificação, não de substituição democrática.**

14.8. O futuro do WebSIG: inteligência artificial, dados massivos e responsabilidade pública

O futuro do WebSIG será atravessado por inteligência artificial, dados massivos, sensores urbanos, plataformas em nuvem, modelos preditivos, automação, ciência cidadã e visualizações cada vez mais sofisticadas. Essas transformações ampliarão a capacidade de produzir indicadores, detectar padrões, simular cenários e apoiar decisões territoriais.

No entanto, a ampliação da capacidade técnica aumentará também a necessidade de responsabilidade pública. Modelos automatizados podem reproduzir vieses, ocultar escolhas metodológicas e produzir decisões opacas. Dados massivos podem ampliar a vigilância e a assimetria entre plataformas, governos e cidadãos. Inteligência artificial pode acelerar análises, mas também gerar interpretações sem explicabilidade suficiente.

Por isso, o WebSIG do futuro deve combinar inovação técnica com ética, transparência, governança e justiça social. A pergunta não será apenas "o que a tecnologia permite fazer?", mas "para quem, com quais métodos, com que controle, com que finalidade pública e com quais efeitos territoriais?". Essa pergunta deve orientar o desenvolvimento das próximas gerações de WebSIGs.

A experiência da UrbVerde indica um caminho: usar tecnologia avançada - sensoriamento remoto, cloud computing, bancos espaciais, interfaces interativas - para ampliar a capacidade pública de leitura territorial, e não para concentrar ainda mais o poder de interpretação. O WebSIG do século XXI deve ser inteligente não apenas porque processa muitos dados, mas porque ajuda a sociedade a formular melhores perguntas sobre o território (figura 110).

Figura 110 - IA, dados massivos e responsabilidade pública



14.9. Considerações finais

Este capítulo sintetizou a tese central do livro: o WebSIG do século XXI deve ser compreendido como tecnologia pública de inteligência territorial. Sua força não está apenas em processar dados ou exibir mapas, mas em transformar informação espacial em conhecimento público, diagnóstico territorial, ação política e monitoramento.

A UrbVerde mostra que esse horizonte é possível quando dados, indicadores, interfaces, usuários, instituições e políticas públicas são articulados em uma infraestrutura sociotécnica. O desafio, contudo,

permanece aberto: fazer com que a próxima geração de WebSIGs não se limite à visualização sofisticada, mas contribua para justiça territorial, adaptação climática e democratização da leitura do espaço.

Referências bibliográficas

ACSELRAD, Henri; MELLO, Cecília Campello do Amaral; BEZERRA, Gustavo das Neves. **O que é justiça ambiental**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

BOWKER, Geoffrey C.; STAR, Susan Leigh. **Sorting Things Out: Classification and Its Consequences**. Cambridge: MIT Press, 1999.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

COSTA, Marcela Fernandes da; FANTIN, Marcel (org.). **Do mapa à ação: Guia UrbVerde para Planos Locais de Ação Climática**. São Carlos: IAU/USP, 2026. DOI: 10.11606/9788566624588.

COSTA, Marcela Fernandes da et al. (org.). **UrbVerde na escola**. São Carlos: IAU/USP, 2024. DOI: 10.11606/9788566624427.

ELWOOD, Sarah; GOODCHILD, Michael F.; SUI, Daniel Z. **Researching volunteered geographic information: spatial data, geographic research, and new social practice**. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 102, n. 3, p. 571-590, 2012.

GORELICK, Noel et al. **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone**. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017.

GOODCHILD, Michael F. **Citizens as sensors: the world of volunteered geography**. *GeoJournal*, v. 69, n. 4, p. 211-221, 2007.

HARVEY, David. **A justiça social e a cidade**. São Paulo: Hucitec, 1980.

IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

MILLAR, David. **Data for Decision**. Direção: David Millar. Produção: Sidney Goldsmith. Montreal: National Film Board of Canada, 1968. 1 filme documentário, 22 min.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

NORMAN, Donald A. **The Design of Everyday Things**. Revised and expanded edition. New York: Basic Books, 2013.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

STAR, Susan Leigh; RUHLEDER, Karen. **Steps toward an ecology of infrastructure: design and access for large information spaces**. *Information Systems Research*, v. 7, n. 1, p. 111-134, 1996.

TOMLINSON, Roger F. **A Geographic Information System for Regional Planning**. Ottawa: Department of Forestry and Rural Development, Government of Canada, 1968.

WARSCHAUER, Mark. **Technology and Social Inclusion: Rethinking the Digital Divide**. Cambridge: MIT Press, 2003.

Capítulo 15 - Agenda para o WebSIG do século XXI: princípios, riscos e caminhos de pesquisa

O WebSIG do século XXI deve ser compreendido como uma construção em disputa. Ele pode se limitar a ser uma interface eficiente de visualização espacial, organizada para mostrar camadas, mapas e indicadores; mas também pode se tornar uma infraestrutura pública de inteligência territorial, capaz de articular ciência, tecnologia, educação, participação social, justiça territorial e políticas públicas. A diferença entre essas duas possibilidades não está apenas na tecnologia utilizada, mas no projeto epistemológico, institucional e político que orienta sua construção.

Ao longo deste livro, defendemos que a geoinformação não é neutra. Todo SIG carrega uma teoria do espaço, ainda que implícita, pois suas estruturas de dados, seus algoritmos, seus recortes territoriais, suas escalas de análise e suas formas de visualização definem aquilo que pode ser visto, medido, cruzado e interpretado (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). Essa constatação exige que o WebSIG do século XXI seja pensado não apenas como tecnologia de representação, mas como tecnologia de mediação entre território, conhecimento e ação pública.

A agenda proposta neste capítulo parte de uma síntese: o WebSIG contemporâneo deve ser **público, crítico, inteligível, participativo, escalável, transparente e orientado à justiça territorial**. Público, porque deve servir ao interesse coletivo e à democratização da informação. Crítico, porque precisa reconhecer os limites de suas próprias representações. Inteligível, porque dados que não podem ser compreendidos socialmente não se convertem em inteligência territorial. Participativo, porque o território não é produzido apenas por especialistas. Escalável, porque precisa crescer, incorporar novas camadas e manter-se atualizado. Transparente, porque seus métodos e limitações devem ser explicitados. Orientado à justiça territorial, porque a geoinformação deve contribuir para revelar e enfrentar desigualdades socioambientais (SANTOS, 1996; ACSELRAD; MELLO; BEZERRA, 2009; LACERDA, 2025) (figura 111).

Figura 111 - Agenda do WebSIG do século XXI



15.1. Primeira tese: o WebSIG do século XXI deve começar pelas perguntas públicas

A primeira tese é que um WebSIG não deve começar pelos dados, mas pelas perguntas públicas que justificam sua existência. A pergunta "quais dados temos?" é importante, mas insuficiente. Antes dela, é necessário perguntar: que problemas territoriais queremos compreender? Que desigualdades precisam ser reveladas? Que políticas públicas podem ser qualificadas? Que sujeitos sociais precisam acessar essa informação? Que decisões podem ser apoiadas?

Essa inversão é fundamental. Muitos sistemas de informação territorial são construídos como repositórios de camadas. Acumulam mapas, bases e indicadores, mas não constroem uma narrativa pública clara sobre seus usos. O resultado pode ser uma plataforma tecnicamente rica, mas socialmente opaca. O WebSIG do século XXI deve partir de problemas concretos: calor urbano, déficit de vegetação, risco de enchentes, ausência de espaços públicos, desigualdade de acesso à infraestrutura verde, vulnerabilidade climática, segregação territorial e injustiça socioambiental.

A experiência da UrbVerde mostra a potência dessa orientação. A plataforma organiza dados socioambientais para apoiar adaptação climática e redução das desigualdades territoriais, articulando vegetação, temperatura, parques, praças, impermeabilização e vulnerabilidades em uma leitura pública do território (LACERDA, 2025). O *Guia UrbVerde para Planos Locais de Ação Climática* explicita essa passagem ao propor que os dados sejam utilizados para qualificar diagnósticos, definir prioridades, construir ações e monitorar políticas públicas (COSTA; FANTIN, 2026).

A pergunta pública deve, portanto, orientar toda a engenharia do sistema. Se a pergunta é "onde priorizar arborização?", os dados, indicadores, filtros, mapas e gráficos precisam responder a essa

finalidade. Se a pergunta é "quem está mais exposto ao calor?", a plataforma deve permitir cruzar temperatura, vegetação, vulnerabilidade social e condições urbanas. Se a pergunta é "como monitorar um plano climático?", o WebSIG deve oferecer séries, metas, indicadores e recortes compatíveis com a gestão pública.

15.2. Segunda tese: o WebSIG deve assumir sua teoria do espaço

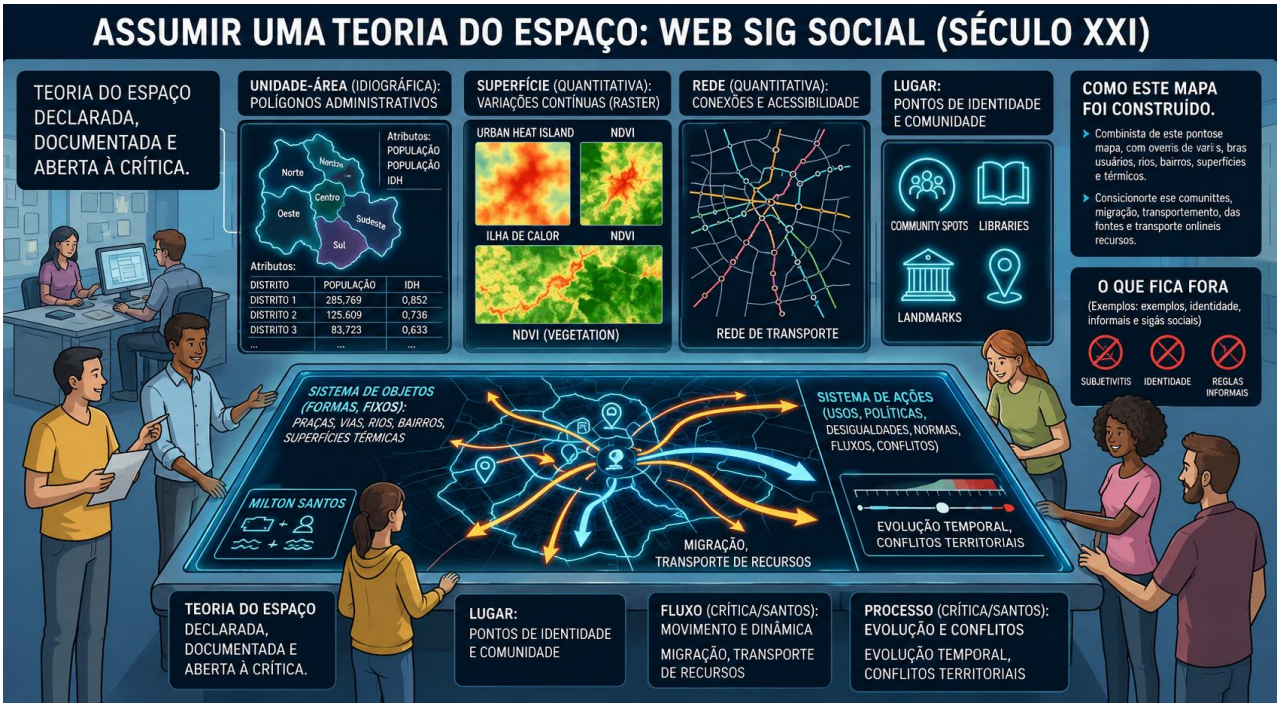
A segunda tese é que o WebSIG precisa explicitar sua teoria do espaço. Nenhum sistema representa o território de forma total. Ao escolher unidades territoriais, escalas, indicadores, geometrias, superfícies, redes ou fluxos, a plataforma define uma forma de compreender o espaço. Um WebSIG baseado apenas em polígonos administrativos tende a privilegiar a unidade-área. Um sistema baseado em superfícies raster tende a privilegiar variações contínuas. Um sistema baseado em redes tende a privilegiar conexões, acessibilidade e fluxos. Um WebSIG social precisa articular essas dimensões sem confundi-las com a realidade integral.

Câmara, Monteiro e Medeiros (2003) mostram que diferentes concepções geográficas de espaço correspondem a diferentes formas de representação computacional. A Geografia idiográfica se aproxima da unidade-área, dos polígonos e atributos. A Geografia Quantitativa dialoga com superfícies, redes, estatística espacial e modelos. A Geografia Crítica tensiona os limites dos SIG ao enfatizar processos, ações, relações sociais, fluxos e conflitos. Essa reflexão é central para qualquer WebSIG que pretenda ser mais do que uma plataforma cartográfica.

Milton Santos oferece uma chave para esse debate ao definir o espaço como conjunto indissociável de sistemas de objetos e sistemas de ações (SANTOS, 1996). Essa formulação impede que o WebSIG se limite à representação de objetos espaciais. Praças, vias, rios, áreas verdes, bairros e superfícies térmicas são objetos ou formas; mas precisam ser interpretados em relação a ações, usos, políticas, desigualdades, normas, fluxos e conflitos.

Assumir uma teoria do espaço significa reconhecer que a plataforma não apenas mostra o território: ela organiza uma leitura sobre ele. Essa leitura deve ser declarada, documentada e aberta à crítica. O WebSIG do século XXI deve informar ao usuário não apenas "o que está no mapa", mas também "como este mapa foi construído", "o que este indicador representa" e "quais aspectos do território permanecem fora da representação" (figura 112).

Figura 112 - Assumir uma teoria do espaço: unidade-área, superfície, rede, lugar, fluxo e processo



15.3. Terceira tese: a interface é uma tecnologia de tradução

A terceira tese é que a interface deve ser compreendida como tecnologia de tradução. Ela traduz dados em visualizações, indicadores em narrativas, mapas em perguntas e diagnósticos em possibilidades de ação. Uma interface ruim não é apenas um problema estético; é uma barreira epistemológica e democrática. Ela impede que o conhecimento circule, restringe o uso a especialistas e reforça a pirâmide entre quem produz dados e quem precisa deles.

A Interação Humano-Computador oferece ferramentas fundamentais para enfrentar essa barreira. Nielsen (1993, 1994) mostra que sistemas devem favorecer visibilidade, consistência, controle do usuário, prevenção de erros e reconhecimento em vez de memorização. Norman (2013) reforça que bons sistemas tornam suas possibilidades de uso compreensíveis e reduzem a distância entre intenção e ação. Em WebSIGs, isso significa menus claros, legendas compreensíveis, explicações acessíveis, filtros intuitivos, mapas responsivos e caminhos de navegação coerentes.

O trabalho de Lacerda (2025) mostra que a reestruturação da UrbVerde incorporou Design Thinking, Double Diamond, heurísticas de usabilidade, princípios da Gestalt, linguagem simples e humanismo de dados para reduzir a barreira técnico-científica dos SIG. Essa experiência demonstra que democratizar geoinformação exige projetar a interface a partir dos usuários reais: gestores, professores, estudantes, jornalistas, técnicos municipais, pesquisadores e cidadãos.

A interface deve oferecer camadas de leitura. O usuário iniciante precisa de sínteses, explicações simples e perguntas orientadoras. O gestor precisa de comparações, indicadores e possibilidades de exportação.

O especialista precisa de metadados, metodologia, dados brutos e documentação técnica. Um WebSIG público deve atender a esses diferentes níveis sem empobrecer o conteúdo nem excluir.

15.4. Quarta tese: dados abertos não bastam sem mediação pública

A quarta tese é que dados abertos são indispensáveis, mas insuficientes. A abertura de bases, mapas e arquivos é condição para transparência, pesquisa, controle social e reutilização. No entanto, dados abertos podem permanecer socialmente inacessíveis quando exigem conhecimentos técnicos, softwares especializados, capacidade de processamento ou domínio conceitual elevado.

Warschauer (2003) argumenta que a inclusão digital não pode ser reduzida ao acesso físico à tecnologia, pois depende de condições sociais, educacionais, culturais e institucionais de uso significativo. A mesma lógica vale para a geoinformação: abrir dados não significa democratizar a inteligência territorial. É preciso criar condições para que diferentes sujeitos compreendam, interpretem e mobilizem os dados.

A mediação pública envolve glossários, notas metodológicas, exemplos de leitura, mapas interpretativos, painéis, gráficos, cartilhas, oficinas, vídeos, guias e materiais didáticos. Envolve também transparência sobre fontes, escalas, datas, limitações e incertezas. Um dado aberto sem contexto pode gerar uso equivocado; um dado mediado pode se transformar em instrumento de formação, planejamento e controle social.

A UrbVerde aponta esse caminho ao combinar plataforma digital, cartilha escolar, guia para planos climáticos, diagnósticos territoriais e materiais voltados à gestão pública e à educação territorial (COSTA et al., 2024; COSTA; FANTIN, 2026). Essa combinação mostra que a democratização da geoinformação não ocorre apenas na tela, mas em um ecossistema de mediações usuários.

O cruzamento entre a **Terceira Tese (A interface como tecnologia de tradução)** e a **Quarta Tese (Dados abertos não bastam sem mediação pública)** revela que a democratização da informação - especialmente a geoinformação - depende de um ecossistema integrado. A interface traduz o dado na tela, enquanto a mediação contextualiza o dado na sociedade. A terceira tese garante que o usuário consiga interagir com o dado sem frustração técnica. A quarta tese garante que o usuário saiba o que fazer com o dado no mundo real. Juntas, elas quebram a pirâmide tecnocrática e transformam a geoinformação em inteligência territorial coletiva e controle social.

A tabela a seguir cruza os principais conceitos, bases teóricas, barreiras apontadas e as soluções práticas (com base na experiência da UrbVerde) apresentadas no texto (quadro 23).

Quadro 23 - Interface, mediação e dados abertos: cruzamento das teses 3 e 4

Dimensão de Análise	Terceira Tese: A Interface como Tecnologia de Tradução	Quarta Tese: Dados Abertos não Bastam sem Mediação Pública	O Cruzamento: A Intersecção das Teses
Conceito Central	A interface é o canal que traduz dados brutos em visualizações, narrativas, mapas e possibilidades de ação.	A abertura de dados é necessária para a transparência, mas insuficiente se a sociedade não souber interpretá-los.	**O ecossistema de acesso:** A interface resolve a tradução técnico-cognitiva na tela; a mediação resolve a apropriação social e educacional no território.
A Barreira Identificada	**Barreira Epistemológica e Democrática:** Interfaces ruins que restringem o uso a especialistas e reforçam a pirâmide do poder da informação.	**Inacessibilidade Social:** Dados disponíveis, mas que exigem softwares caros, alto processamento ou conhecimento conceitual elevado.	**Exclusão Digital e Territorial:** Disponibilizar dados sem tratamento de design (interface) e sem contexto (mediação) mantém o cidadão comum excluído.
Fundamentação Teórica	* **Nielsen (1993, 1994):** Heurísticas de usabilidade (visibilidade, consistência, controle). * **Norman (2013):** Redução da distância entre intenção e ação. * **Lacerda (2025):** Design Thinking, Double Diamond, Gestalt e Humanismo de dados.	* **Warschauer (2003):** Inclusão digital depende de condições sociais, educacionais e culturais para o uso significativo, não apenas do acesso físico.	**Aproximação Teórica:** O design centrado no usuário (IHC) converge com a inclusão digital crítica. Ambos defendem que a tecnologia deve se adaptar ao humano, e não o contrário.
Estratégias Práticas	**Camadas de leitura na plataforma:** * *Iniciante:* Sínteses e perguntas orientadoras. * *Gestor:* Comparações, indicadores e exportação. * *Especialista:* Metadados, metodologia e dados brutos.	**Instrumentos pedagógicos e institucionais:** Glossários, notas metodológicas, guias, cartilhas, oficinas, vídeos explicativos e transparência sobre limitações/incertezas do dado.	**Níveis de Interação:** O usuário navega por uma interface intuitiva que já possui, intrinsecamente, os elementos de mediação (ajudas textuais, glossários integrados e links para os guias).
Aplicação Prática (Caso UrbVerde)	Reestruturação da plataforma focada em usuários reais (gestores, jornalistas, cidadãos) através de menus claros, legendas compreensíveis e filtros intuitivos (Lacerda, 2025).	Desenvolvimento de um ecossistema que vai além da tela: cartilha escolar, guia para planos climáticos e diagnósticos territoriais (Costa et al., 2024; Costa & Fantin, 2026).	**Democratização Plena:** A UrbVerde materializa o cruzamento ao unir o *artefato digital usável* (interface) aos *artefatos analógicos/pedagógicos* (mediação) para a educação territorial.

15.5. Quinta tese: o WebSIG deve operar como infraestrutura de políticas públicas

A quinta tese é que o WebSIG do século XXI deve apoiar o ciclo completo das políticas públicas. Não deve se limitar ao diagnóstico, nem à visualização de camadas. Deve contribuir para definir prioridades, formular ações, estabelecer metas, monitorar resultados e avaliar políticas. Essa passagem é central para transformar informação territorial em inteligência pública.

Um WebSIG pode apoiar o diagnóstico ao revelar padrões espaciais e desigualdades. Pode apoiar a formulação ao indicar áreas prioritárias. Pode apoiar a implementação ao orientar localização de intervenções. Pode apoiar o monitoramento ao acompanhar indicadores no tempo. Pode apoiar a avaliação ao permitir verificar se as ações reduziram desigualdades ou apenas deslocaram problemas.

Essa função é especialmente importante diante da crise climática. O IPCC (2023) destaca que a adaptação efetiva depende de informação local, governança, participação e atenção às desigualdades. O WebSIG pode contribuir para essa agenda ao territorializar riscos, vulnerabilidades, déficit de infraestrutura verde, exposição ao calor e necessidade de ações prioritárias.

A experiência da UrbVerde, especialmente no diálogo com Planos Locais de Ação Climática, reforça essa dimensão. O guia *Do mapa à ação* propõe exatamente essa passagem: usar dados territoriais para construir diagnósticos, definir eixos, formular ações e apoiar monitoramento (COSTA; FANTIN, 2026). O WebSIG deixa de ser um painel de consulta e passa a ser uma infraestrutura de governança climática (figura 113).

Figura 113 - Síntese política: infraestrutura de políticas públicas orientada à justiça territorial



15.6. Sexta tese: a justiça territorial deve orientar a arquitetura da plataforma

A sexta tese é que justiça territorial deve ser um princípio de arquitetura, não apenas um tema. Isso significa que o sistema deve ser desenhado para revelar desigualdades, cruzar dimensões sociais e

ambientais, identificar populações vulnerabilizadas e orientar políticas redistributivas. Um WebSIG social não deve apenas mostrar onde estão os fenômenos, mas ajudar a perguntar quem é afetado por eles, por que e com quais possibilidades de reparação.

A justiça ambiental demonstra que populações pobres, racializadas e politicamente vulnerabilizadas tendem a sofrer de modo desproporcional os impactos da degradação ambiental e da ausência de infraestrutura (ACSELRAD; MELLO; BEZERRA, 2009). No espaço urbano, essa desigualdade aparece em ilhas de calor, ausência de arborização, déficit de praças, risco de enchentes, moradia precária e exposição desigual a eventos extremos.

Harvey (1980) lembra que a justiça social possui dimensão espacial, pois recursos, oportunidades e ônus se distribuem territorialmente de modo desigual. O WebSIG do século XXI deve tornar essas distribuições visíveis e comparáveis. Deve permitir cruzamentos entre vegetação, temperatura, renda, idade, raça, densidade, acesso a equipamentos e vulnerabilidade. A justiça territorial deve orientar as perguntas, os indicadores, os painéis e os modos de visualização.

Essa orientação também implica cuidado ético. Mapear vulnerabilidades pode fortalecer políticas públicas, mas também pode expor populações a estigmatização, controle ou remoção. A plataforma deve equilibrar transparência, proteção de dados, escala adequada e finalidade pública. A justiça territorial não é apenas mostrar desigualdades; é fazê-lo de modo responsável e orientado à garantia de direitos.

15.7. Sétima tese: o WebSIG precisa incorporar conhecimento local e participação

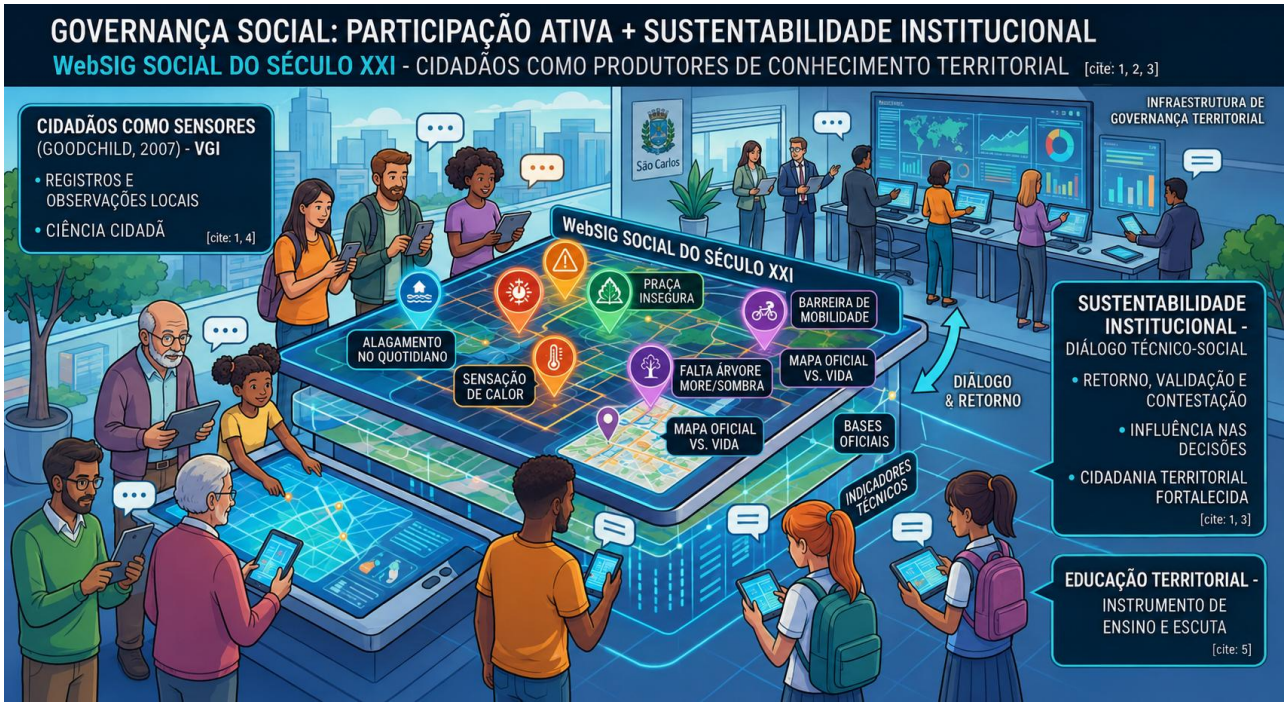
A sétima tese é que o WebSIG do século XXI deve reconhecer usuários e comunidades como produtores de conhecimento territorial. A literatura sobre *Volunteered Geographic Information* mostra que cidadãos podem atuar como sensores, contribuindo com registros, observações e dados espaciais que complementam bases oficiais (GOODCHILD, 2007). Elwood, Goodchild e Sui (2012) destacam que essas novas práticas alteram a produção social da informação geográfica, criando possibilidades e desafios para pesquisa, planejamento e participação.

No entanto, participação não significa apenas coletar dados dos usuários. Um WebSIG social deve construir processos nos quais o conhecimento local dialogue com os dados técnicos. Moradores sabem onde alaga, onde falta sombra, onde a praça é insegura, onde a árvore foi removida, onde o calor é mais sentido, onde há barreiras de mobilidade e onde os mapas oficiais não correspondem à vida cotidiana. Esse conhecimento é indispensável para interpretar indicadores.

A participação também exige retorno. Não basta solicitar que usuários contribuam com dados se eles não participam da interpretação, não têm acesso aos resultados ou não influenciam decisões. Um WebSIG participativo deve criar canais de diálogo, validação, contestação, complementação e uso social da informação. A ciência cidadã deve fortalecer a cidadania territorial, não apenas alimentar bases de dados.

Essa tese dialoga com a educação territorial. Usuários precisam ser formados para ler mapas e indicadores; plataformas precisam ser abertas para escutar territórios. O WebSIG do século XXI deve ser ao mesmo tempo instrumento de ensino e de escuta (figura 114).

Figura 114 - Governança social: participação + sustentabilidade institucional



15.8. Oitava tese: o WebSIG deve ser sustentável institucionalmente

A oitava tese é que plataformas públicas de geoinformação exigem sustentabilidade institucional. Um WebSIG não é apenas um projeto de desenvolvimento; é uma infraestrutura que precisa de manutenção, atualização, documentação, equipe, financiamento e governança. Muitas plataformas digitais fracassam não por falta de qualidade inicial, mas por ausência de continuidade.

Star e Ruhleder (1996) mostram que infraestruturas dependem de práticas, comunidades, manutenção e inserção em rotinas. Bowker e Star (1999) lembram que classificações e sistemas de informação têm consequências sociais e precisam ser analisados como parte de arranjos institucionais. Aplicado aos WebSIGs, isso significa que a plataforma precisa estar conectada a rotinas de gestão, educação, pesquisa e planejamento.

A sustentabilidade envolve decisões concretas. Quem atualiza as camadas? Quem valida indicadores? Quem responde por erros? Quem documenta métodos? Quem financia servidores? Quem treina novos usuários? Quem decide prioridades de desenvolvimento? Quem garante que a plataforma não se torne obsoleta? Essas perguntas são tão importantes quanto a escolha da biblioteca cartográfica.

A experiência da UrbVerde mostra que parcerias institucionais são fundamentais. Universidade, consórcios, institutos, prefeituras, escolas e sociedade civil compõem a rede de sustentação da

plataforma (COSTA; FANTIN, 2026; LACERDA, 2025). O WebSIG do século XXI deve ser desenhado como ecossistema, não como produto isolado.

15.9. Nona tese: inteligência artificial e automação exigem responsabilidade pública

A nona tese olha para o futuro. A próxima geração de WebSIGs será cada vez mais atravessada por inteligência artificial, aprendizado de máquina, sensores urbanos, dados massivos, modelos preditivos e automação. Essas tecnologias podem ampliar a capacidade de classificar imagens, detectar mudanças, simular cenários, gerar alertas, identificar padrões e apoiar decisões. Mas também ampliam riscos de opacidade, viés, vigilância e dependência tecnológica.

Gorelick et al. (2017) mostram como plataformas em nuvem, como Google Earth Engine, ampliaram a análise geoespacial em escala planetária. Essa capacidade é extraordinária, mas precisa ser acompanhada por governança e transparência. Quanto maior o poder de processamento, maior a responsabilidade de explicitar métodos, validar resultados e evitar usos indevidos.

A inteligência artificial pode ajudar a identificar áreas com déficit de vegetação, prever riscos, classificar uso do solo ou detectar mudanças temporais. Mas modelos automatizados não substituem interpretação, validação local e decisão democrática. A automação pode acelerar análises, mas também pode esconder pressupostos. O WebSIG do futuro precisa combinar inovação com explicabilidade.

Zuboff (2019) alerta para os riscos do capitalismo de vigilância e da captura de dados comportamentais em plataformas digitais. No campo geográfico, dados de localização, mobilidade e território são especialmente sensíveis. O WebSIG público deve diferenciar-se de lógicas comerciais de extração de dados, adotando princípios de finalidade pública, proteção, transparência e governança democrática (quadro 24).

Quadro 24 - Riscos da IA no WebSIG: viés, opacidade, vigilância, dependência tecnológica

A transição dos sistemas de geoinformação tradicionais para a próxima geração de WebSIGs - movidos por Inteligência Artificial (IA), aprendizado de máquina e sensores urbanos - traz um salto na capacidade de análise territorial. No entanto, como aponta a **Nona Tese**, esse avanço amplia drasticamente vulnerabilidades éticas e técnicas.

A tabela abaixo detalha e categoriza os quatro grandes riscos descritos no seu texto (**viés, opacidade, vigilância e dependência tecnológica**), articulando seus impactos práticos no território e as contrapartidas necessárias para uma governança pública e democrática.

Tabela: Riscos da Inteligência Artificial no WebSIG do Futuro

Risco	Descrição e Mecanismo no WebSIG	Impacto no Planejamento Urbano e Territorial	Contrapartida e Solução (Explicabilidade e Governança)
Viés *(Bias)*	Modelos automatizados de IA treinados com dados históricos poluídos ou bases de dados desequilibradas que perpetuam distorções no território.	* Classificação errônea de uso do solo. * Marginalização de áreas periféricas em simulações preditivas. * Alocação injusta de investimentos públicos baseada em padrões históricos desiguais.	* **Validação Local:** Cruzamento obrigatório com dados de campo e checagem humana. * **Decisão Democrática:** Participação social na validação de cenários, impedindo que o algoritmo decida sozinho.
Opacidade *(Black Box)*	Falta de transparência nos métodos de processamento e nos critérios internos que algoritmos complexos utilizam para chegar a um resultado ou emitir um alerta.	* Ocultação de pressupostos políticos, sociais ou técnicos sob uma falsa camada de "neutralidade matemática". * Dificuldade de contestar decisões ou diagnósticos errados emitidos pelo sistema.	* **Explicabilidade:** Governança algorítmica rigorosa (XAI - *Explainable AI*). * **Transparência Metodológica:** Obrigatoriedade de explicitar métodos e abrir os critérios de validação de resultados (conforme Gorelick et al., 2017).
Vigilância *(Surveillance)*	Captura em massa de dados de localização, mobilidade e comportamento no território através de sensores urbanos e monitoramento massivo.	* Risco de o WebSIG reproduzir as lógicas do **capitalismo de vigilância** (Zuboff, 2019). * Extração comercial de dados sensíveis dos cidadãos. * Controle social excessivo disfarçado de gestão urbana.	* **Finalidade Pública Estrita:** Diferenciação total de lógicas comerciais de extração de dados. * **Proteção de Dados:** Governança democrática com regras rígidas de anonimização e privacidade do cidadão.
Dependência Tecnológica	Centralização do poder de processamento em larga escala e armazenamento de dados em nuvens corporativas fechadas de Big Techs.	* Perda de autonomia de estados e municípios na gestão da inteligência territorial. * Submissão de políticas públicas a plataformas privadas de infraestrutura planetária (ex: Google Earth Engine).	* **Soberania de Dados:** Fortalecimento de infraestruturas públicas de dados. * **Padrões Abertos:** Uso de arquiteturas abertas, metadados públicos e interoperabilidade que diminuam o aprisionamento tecnológico (*vendor lock-in*).

Diretriz para o Futuro: O grande desafio da próxima geração de WebSIGs não é puramente técnico (aumentar o processamento ou a precisão dos modelos), mas sim político e ético: **garantir que a automação acelere a análise sem esconder as escolhas, incertezas e limitações que existem por trás do dado geográfico.**

15.10. Décima tese: o WebSIG deve ser uma tecnologia de esperança pública

A décima tese é mais normativa: o WebSIG do século XXI deve ser uma tecnologia de esperança pública. Isso não significa romantizar a tecnologia, nem imaginar que mapas resolverão desigualdades. Significa reconhecer que, em contextos de crise climática, precarização urbana e injustiça socioambiental, a capacidade de ver, compreender e discutir o território é condição para transformá-lo.

Paulo Freire (1992) compreende a esperança não como espera passiva, mas como prática histórica, crítica e transformadora. Nesse sentido, o WebSIG pode ser uma tecnologia de esperança quando ajuda sujeitos a compreenderem seu território, reconhecerem desigualdades, formularem demandas e participarem de políticas públicas. A esperança está na possibilidade de transformar dados em consciência territorial e consciência territorial em ação coletiva.

Milton Santos (1996) mostra que o meio técnico-científico-informacional pode aprofundar desigualdades, mas também abre possibilidades de uso contra-hegemônico da técnica. O WebSIG social situa-se nessa disputa. Pode ser ferramenta de controle e mercantilização do território, mas também pode ser instrumento de cidadania, planejamento público e justiça territorial.

A UrbVerde indica esse caminho ao conectar geoinformação, escola, gestão pública, adaptação climática e redução de desigualdades. Sua importância está justamente em mostrar que a técnica pode ser colocada a serviço de uma leitura pública e crítica do território (LACERDA, 2025; COSTA et al., 2024; COSTA; FANTIN, 2026) (figura 115).

Figura 115 - WebSIG como tecnologia de esperança pública



15.11. Uma agenda de pesquisa para os próximos anos

A construção do WebSIG do século XXI abre uma ampla agenda de pesquisa.

1. O primeiro eixo é epistemológico: como representar processos sociais, fluxos, ações, temporalidades e conflitos em plataformas computacionais sem reduzir indevidamente a complexidade do espaço? Essa questão retoma diretamente a agenda de Câmara, Monteiro e Medeiros (2003) sobre o "SIG do futuro".
2. O segundo eixo é técnico: como construir arquiteturas escaláveis, interoperáveis, abertas, documentadas e sustentáveis? Isso envolve bancos espaciais, APIs, metadados, versionamento, computação em nuvem, renderização vetorial, padrões abertos e integração entre dados raster e vetoriais.
3. O terceiro eixo é comunicacional: como projetar interfaces que favoreçam interpretação, comparação e ação? Isso exige aprofundar a relação entre Interação Humano-Computador, visualização de dados, cartografia, acessibilidade e linguagem simples (NIELSEN, 1993; NORMAN, 2013; CAIRO, 2016).
4. O quarto eixo é político-institucional: como incorporar WebSIGs a planos, conselhos, orçamentos, políticas climáticas e rotinas municipais? A plataforma só se torna infraestrutura pública quando é incorporada a processos reais de decisão.
5. O quinto eixo é educativo: como usar WebSIGs em escolas, universidades, formações de gestores e processos participativos? A educação territorial deve ser vista como componente central da democratização da geoinformação.
6. O sexto eixo é ético: como proteger dados sensíveis, evitar usos discriminatórios, garantir transparência algorítmica e impedir que plataformas públicas sejam apropriadas por lógicas de vigilância ou mercado?

Essa agenda mostra que o WebSIG do século XXI é um campo interdisciplinar. Ele exige geógrafos, arquitetos, urbanistas, engenheiros, cientistas da computação, designers, educadores, gestores, movimentos sociais e comunidades territoriais (quadro 25).

👥 **Conclusão da Agenda:** Nenhum desses eixos opera de forma isolada. O sucesso técnico (Eixo 2) e comunicacional (Eixo 3) perde o sentido se não houver inserção política (Eixo 4) ou apropriação educativa (Eixo 5). O WebSIG do século XXI firma-se, portanto, como uma infraestrutura pública e um campo de pesquisa essencialmente coletivo. A construção do WebSIG do século XXI consolida a geoinformação como um campo essencialmente interdisciplinar.

Para estruturar essa visão de futuro, a agenda de pesquisa se desdobra em seis eixos interdependentes que vão da teoria espacial à prática democrática. A tabela a seguir organiza esses eixos, destacando os desafios centrais de cada um, os campos do conhecimento envolvidos e os horizontes práticos de aplicação.

Quadro 25 - Agenda de pesquisa para os próximos anos: eixos epistemológico, técnico, comunicacional, político, educativo e ético

Eixo	Desafio Central (A Pergunta Básica)	Componentes e Tecnologias-Chave	Profissionais e Atores Envolvidos	Horizonte de Aplicação Prática
1. Epistemológico	Como representar a complexidade do espaço (processos sociais, fluxos, temporalidades e conflitos) sem reduzi-la a meras geometrias estáticas?	Modelagem de dados espaço-temporais, cartografia dinâmica, representação de conflitos territoriais (Retoma a agenda do "SIG do futuro" de Câmara, Monteiro e Medeiros, 2003).	Geógrafos, Urbanistas, Cientistas Sociais, Engenheiros de Dados.	Modelos computacionais flexíveis que compreendam o território como um processo vivo e mutável, e não apenas como um mapa fixo.
2. Técnico	Como construir arquiteturas de sistemas que sejam ao mesmo tempo robustas, abertas, integradas e fáceis de manter ao longo do tempo?	Bancos de dados espaciais, APIs, metadados, versionamento, computação em nuvem, renderização vetorial, padrões abertos (OGC) e integração raster-vetorial.	Cientistas da Computação, Engenheiros de Software, Especialistas em Geoprocessamento.	Plataformas escaláveis, interoperáveis e sustentáveis, capazes de processar grandes volumes de dados sem gerar aprisionamento tecnológico.
3. Comunicacional	Como projetar interfaces que traduzam a complexidade técnica em caminhos intuitivos para a interpretação, comparação e tomada de decisão?	Interação Humano-Computador (IHC), visualização de dados (*Data Viz*), cartografia temática, acessibilidade digital e linguagem simples (Nielsen, 1993; Norman, 2013; Cairo, 2016).	Designers de Interface (UI/UX), Cartógrafos, Especialistas em Comunicação, Jornalistas.	Telas com camadas de leitura adaptadas a diferentes perfis de usuários, reduzindo a distância entre a intenção do cidadão e a ação na plataforma.
4. Político-Institucional	Como garantir que o WebSIG deixe de ser apenas uma vitrine tecnológica e passe a integrar o fluxo real de tomada de decisão do Estado?	Institucionalização de plataformas, desenho de fluxos decisórios, indicadores para políticas climáticas e instrumentos de planejamento municipal.	Gestores Públicos, Planejadores Urbanos, Advogados Urbanistas, Conselheiros Municipais.	Integração orgânica do WebSIG a planos diretores, conselhos de direitos, orçamentos públicos, rotinas administrativas e planos de mitigação climática.
5. Educativo	Como transformar o WebSIG em uma ferramenta viva de alfabetização espacial e empoderamento social nos territórios?	Metodologias ativas de ensino, educação territorial, materiais didáticos integrados (cartilhas, guias) e dinâmicas de mapeamento participativo.	Educadores, Pedagogos, Cientistas Sociais, Movimentos Sociais, Comunidades Territoriais.	Uso generalizado de WebSIGs em salas de aula (escolas e universidades), na formação contínua de quadros técnicos da gestão e em assembleias populares.
6. Ético	Como avançar na inovação e no uso de inteligência artificial no WebSIG protegendo os direitos fundamentais dos cidadãos?	Transparência algorítmica (XAI), anonimização de dados de localização, governança democrática de dados e blindagem contra extração comercial.	Cientistas de Dados, Especialistas em Direito Digital/LGPD, Cientistas Políticos, Ativistas de Direitos Humanos.	Plataformas públicas imunes às lógicas do capitalismo de vigilância, que explicitam seus vieses/limitações e priorizam estritamente a finalidade pública.

15.12. Considerações finais

Este capítulo propôs uma agenda para o WebSIG do século XXI a partir de dez teses: começar pelas perguntas públicas; assumir uma teoria do espaço; tratar a interface como tecnologia de tradução; reconhecer que dados abertos precisam de mediação; operar como infraestrutura de políticas públicas; orientar a arquitetura pela justiça territorial; incorporar conhecimento local e participação; garantir sustentabilidade institucional; usar inteligência artificial com responsabilidade pública; e afirmar o WebSIG como tecnologia de esperança democrática.

Essas teses indicam que o futuro do WebSIG dependerá menos de uma solução técnica isolada e mais do projeto social que orienta seu desenvolvimento. A tecnologia é indispensável, mas não suficiente. O desafio é construir plataformas públicas, críticas e sustentáveis, capazes de transformar geoinformação em leitura territorial, participação e justiça.

Referências bibliográficas

ACSELRAD, Henri; MELLO, Cecília Campello do Amaral; BEZERRA, Gustavo das Neves. **O que é justiça ambiental**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

BOWKER, Geoffrey C.; STAR, Susan Leigh. **Sorting Things Out: Classification and Its Consequences**. Cambridge: MIT Press, 1999.

CAIRO, Alberto. **The Truthful Art: Data, Charts, and Maps for Communication**. Berkeley: New Riders, 2016.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

COSTA, Marcela Fernandes da et al. (org.). **UrbVerde na escola**. São Carlos: IAU/USP, 2024. DOI: 10.11606/9788566624427.

COSTA, Marcela Fernandes da; FANTIN, Marcel (org.). **Do mapa à ação: Guia UrbVerde para Planos Locais de Ação Climática**. São Carlos: IAU/USP, 2026. DOI: 10.11606/9788566624588.

ELWOOD, Sarah; GOODCHILD, Michael F.; SUI, Daniel Z. **Researching volunteered geographic information: spatial data, geographic research, and new social practice**. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 102, n. 3, p. 571-590, 2012.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da esperança: um reencontro com a pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1992.

GOODCHILD, Michael F. **Citizens as sensors: the world of volunteered geography**. *GeoJournal*, v. 69, n. 4, p. 211-221, 2007.

GORELICK, Noel et al. **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone**. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017.

HARVEY, David. **A justiça social e a cidade**. São Paulo: Hucitec, 1980.

IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

NIELSEN, Jakob. **10 Usability Heuristics for User Interface Design**. Nielsen Norman Group, 1994.

NORMAN, Donald A. **The Design of Everyday Things**. Revised and expanded edition. New York: Basic Books, 2013.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

STAR, Susan Leigh; RUHLEDER, Karen. **Steps toward an ecology of infrastructure: design and access for large information spaces**. *Information Systems Research*, v. 7, n. 1, p. 111-134, 1996.

WARSCHAUER, Mark. **Technology and Social Inclusion: Rethinking the Digital Divide**. Cambridge: MIT Press, 2003.

ZUBOFF, Shoshana. **The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power**. New York: PublicAffairs, 2019.

Conclusão: Por um WebSIG social, público e crítico

Ao longo deste livro, procuramos compreender a trajetória dos Sistemas de Informação Geográfica desde sua origem moderna, nos anos 1960, até sua transformação contemporânea em plataformas web, interativas e orientadas à inteligência territorial. Essa trajetória expressa mudanças profundas na forma como o território é conhecido, representado, processado, visualizado, governado e disputado.

A tese central defendida aqui é que o WebSIG do século XXI não pode ser reduzido a um mapa interativo publicado na internet. Ele deve ser compreendido como infraestrutura sociotécnica de inteligência territorial: uma cadeia pública que articula dados, métodos, interfaces, usuários, instituições, políticas públicas, processos educativos e participação social (figura 116).

Figura 116 - Síntese geral: por um WebSIG social, público e crítico



1. Do mapa como produto ao mapa como mediação

A história dos SIG pode ser lida como a história da transformação do mapa. Na cartografia analógica, o mapa era predominantemente produto final: uma síntese gráfica estabilizada do território. Com os SIG, o mapa passou a ser uma interface de acesso a bancos de dados georreferenciados, permitindo consulta, seleção, cruzamento, sobreposição, cálculo e modelagem. Essa passagem alterou a própria natureza da cartografia: o mapa deixou de ser apenas imagem e passou a integrar um sistema de informação (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Com os WebSIGs, essa transformação se aprofundou. O mapa tornou-se ambiente de interação, navegação, consulta e visualização dinâmica. O usuário deixou de receber apenas uma representação pronta e passou a interagir com camadas, indicadores, gráficos e filtros. No entanto, a interatividade,

por si só, não garante interpretação crítica. Um mapa pode ser dinâmico, fluido e visualmente sofisticado e, ainda assim, permanecer superficial. A questão central não é apenas mover o mapa, mas compreender o território.

Por isso, este livro propôs deslocar o WebSIG da lógica da visualização para a lógica da mediação. O mapa deve ser ponto de partida, não ponto de chegada. Ele permite observar padrões, mas precisa ser articulado a conceitos, indicadores, métodos, narrativas, explicações e políticas públicas. Um WebSIG social não entrega apenas camadas; ele ajuda a construir perguntas: onde estão as desigualdades? Quem é mais afetado? Quais processos produziram essa configuração? Que ações públicas podem enfrentar o problema? Como monitorar seus efeitos?

2. O espaço não cabe inteiro no sistema

A segunda conclusão é epistemológica: o espaço geográfico não cabe integralmente dentro de um SIG. O que cabe são representações parciais do espaço: pontos, linhas, polígonos, grades, superfícies, redes, atributos, indicadores, fluxos, eventos e modelos. Essas representações são poderosas, mas nunca equivalem à totalidade do território. Elas selecionam, simplificam, classificam e organizam dimensões da realidade.

Câmara, Monteiro e Medeiros alertam para esse problema ao discutir o risco da reificação geográfica: a tendência de tomar a representação computacional como se ela fosse a própria realidade (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2003). Uma camada de temperatura de superfície não é a experiência integral do calor urbano. Um índice de cobertura vegetal não expressa sozinho a qualidade da arborização, o acesso à sombra ou a relação afetiva da população com as áreas verdes. Um polígono de bairro não contém, por si só, sua história, seus conflitos, suas redes de sociabilidade ou suas desigualdades internas.

Reconhecer esse limite não diminui a potência dos SIG. Ao contrário, torna seu uso mais rigoroso. Um WebSIG crítico deve explicitar seus métodos, fontes, escalas, períodos, incertezas e limitações. Deve mostrar o que seus indicadores permitem ver, mas também aquilo que eles não conseguem captar. A transparência metodológica é condição de legitimidade pública.

Essa reflexão dialoga diretamente com Milton Santos. Se o espaço é formado por sistemas de objetos e sistemas de ações, então nenhum WebSIG pode se limitar à representação dos objetos espaciais. Parques, praças, rios, vias, manchas de vegetação e superfícies térmicas precisam ser compreendidos em relação a ações, usos, normas, conflitos, políticas públicas, fluxos e desigualdades (SANTOS, 1996). O WebSIG social nasce justamente desse esforço: representar o que é possível, sem esquecer que o território é sempre mais complexo do que sua representação (figura 117).

Figura 117 - Representação parcial do território: limites do sistema



3. Da democratização do acesso à democratização da interpretação

A popularização dos mapas digitais, especialmente com Google Maps e Google Earth, reduziu a estranheza social diante da informação espacial. Milhões de pessoas passaram a buscar lugares, calcular rotas, navegar por imagens de satélite e reconhecer territórios em interfaces digitais. Essa virada cultural foi fundamental, mas não eliminou a distância entre especialistas e usuários. Navegar em um mapa não é o mesmo que interpretar criticamente dados territoriais.

A democratização da geoinformação exige mais do que acesso. Exige apropriação. Dados abertos, mapas públicos e plataformas online são condições necessárias, mas insuficientes. É preciso que o usuário compreenda o que está vendo, saiba interpretar os indicadores, reconheça as limitações dos dados, consiga comparar territórios e possa mobilizar as informações em processos educativos, jornalísticos, comunitários ou de gestão pública.

Nesse ponto, a Interação Humano-Computador torna-se dimensão central do WebSIG do século XXI. Usabilidade, acessibilidade, linguagem simples, design centrado no usuário, hierarquia visual, clareza de legendas e testes de interface não são detalhes estéticos. São condições para que a informação territorial deixe de ser monopólio técnico e se converta em linguagem pública. A experiência da UrbVerde, analisada por Lacerda, mostra que metodologias como Design Thinking, Double Diamond, heurísticas de usabilidade, linguagem simples e humanismo de dados podem contribuir para reduzir a barreira técnico-científica dos SIG (LACERDA, 2025; NIELSEN, 1993; NORMAN, 2013).

A democratização da geoinformação não significa transformar todos os usuários em especialistas em geoprocessamento. Significa construir plataformas que permitam a diferentes públicos - gestores,

professores, estudantes, jornalistas, pesquisadores, movimentos sociais e cidadãos - compreender informações territoriais relevantes para suas práticas. O especialista continua indispensável, mas o monopólio da interpretação precisa ser superado.

4. O WebSIG social como tecnologia pública

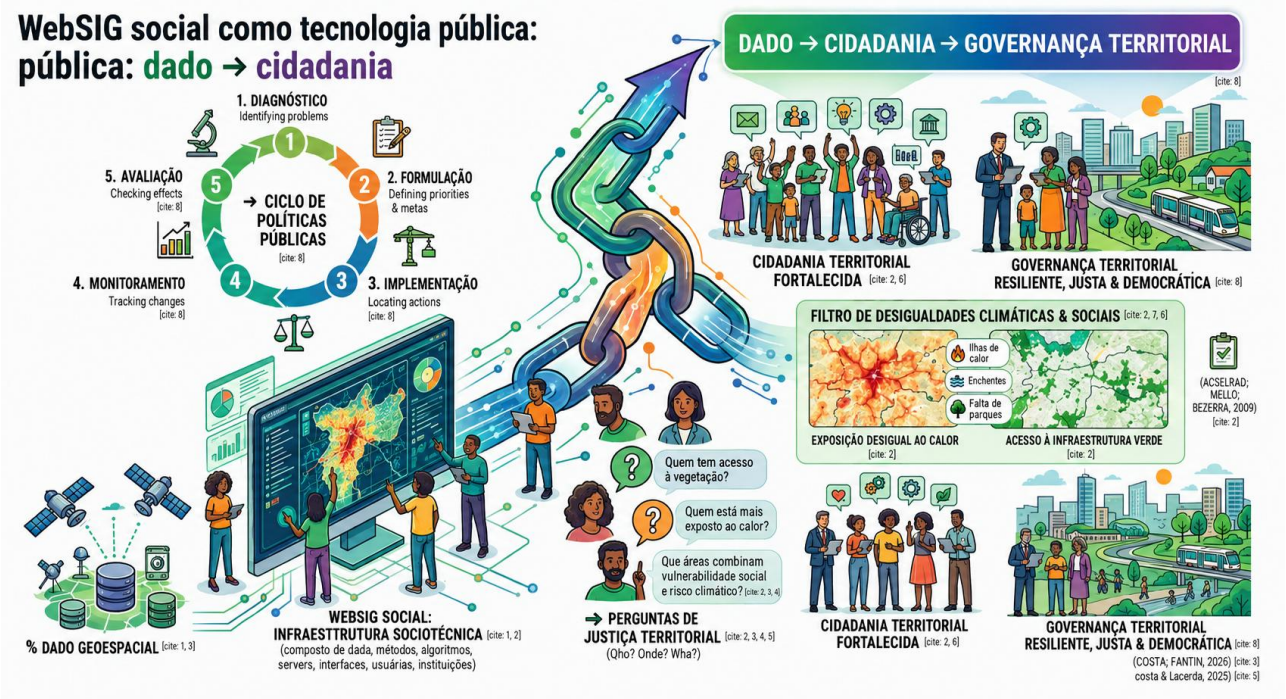
Um WebSIG social não é apenas um sistema com dados sociais. É uma plataforma orientada por problemas públicos, por justiça territorial e por processos de transformação. Seu objetivo não é simplesmente mostrar onde estão os fenômenos, mas ajudar a compreender por que eles se distribuem de determinada forma, quem é afetado por essa distribuição e que políticas podem enfrentar as desigualdades reveladas.

Essa orientação é fundamental no contexto da crise climática. Ilhas de calor, enchentes, ausência de vegetação, impermeabilização do solo, déficit de parques e praças e exposição desigual a riscos não são apenas problemas ambientais. São expressões territoriais de desigualdades sociais, urbanas e históricas. A justiça ambiental mostra que populações vulnerabilizadas tendem a sofrer de modo desproporcional os efeitos da degradação ambiental e da ausência de infraestrutura (ACSELRAD; MELLO; BEZERRA, 2009). O WebSIG social deve tornar essas desigualdades visíveis, comparáveis e debatíveis.

Por isso, a arquitetura do sistema deve ser orientada por perguntas de justiça territorial: quem tem acesso à vegetação? Quem está mais exposto ao calor? Quais territórios estão mais distantes de praças e parques? Que áreas combinam vulnerabilidade social e risco climático? Que políticas podem reduzir essas desigualdades? Como monitorar se as ações públicas estão produzindo efeitos concretos?

O WebSIG social deve apoiar o ciclo completo das políticas públicas. No diagnóstico, ajuda a identificar problemas e desigualdades. Na formulação, contribui para definir prioridades, eixos e metas. Na implementação, orienta a localização das ações. No monitoramento, permite acompanhar mudanças. Na avaliação, oferece evidências para revisar estratégias. O dado deixa de ser apenas informação e passa a integrar a governança territorial (figura 118).

Figura 118 - WebSIG social como tecnologia pública: dado → cidadania



5. A UrbVerde como síntese em construção

A UrbVerde foi tomada neste livro como laboratório porque reúne, em uma experiência concreta, muitos dos desafios do WebSIG do século XXI. Ela articula sensoriamento remoto, processamento em nuvem, indicadores socioambientais, banco de dados, mapas interativos, interface pública, materiais pedagógicos, guias metodológicos, formação de usuários e conexão com políticas públicas de adaptação climática e redução das desigualdades territoriais.

Sua contribuição principal está em mostrar que a geoinformação pode construir uma cadeia pública de inteligência territorial: dados organizam a base empírica; indicadores permitem diagnósticos; diagnósticos subsidiam planos e agendas; ações exigem monitoramento; e o monitoramento retroalimenta a política pública. A UrbVerde não é modelo acabado, mas experiência em construção, cuja força está justamente em articular método, interface, linguagem, governança e compromisso público.

6. Princípios para um WebSIG social, público e crítico

A partir do percurso desenvolvido neste livro, é possível formular alguns princípios orientadores (quadro 26).

1. O primeiro é o **princípio da finalidade pública**. Um WebSIG social deve partir de problemas públicos concretos: adaptação climática, desigualdade socioambiental, acesso a áreas verdes, risco de enchentes, planejamento urbano, justiça territorial e monitoramento de políticas.

2. O segundo é o **princípio da transparência metodológica**. Fontes, métodos, escalas, períodos, limitações e incertezas devem ser explicitados. Um WebSIG público precisa ser confiável e auditável.

3. O terceiro é o **princípio da inteligibilidade**. A plataforma deve ser compreensível para usuários não especialistas, por meio de linguagem clara, interface acessível, visualizações adequadas, glossários, tutoriais e materiais pedagógicos.

4. O quarto é o **princípio da criticidade**. O WebSIG deve combater a reificação geográfica, lembrando que mapas e indicadores são representações parciais do território, e não a realidade em sua totalidade.

5. O quinto é o **princípio da justiça territorial**. A plataforma deve revelar desigualdades e orientar políticas que reduzam vulnerabilidades socioambientais.

6. O sexto é o **princípio da participação**. Usuários não devem ser tratados apenas como consumidores de mapas, mas como sujeitos capazes de produzir conhecimento, validar interpretações, formular demandas e participar da transformação territorial (GOODCHILD, 2007; ELWOOD; GOODCHILD; SUI, 2012).

7. O sétimo é o **princípio da educação territorial**. O WebSIG deve formar leitores críticos do território em escolas, universidades, processos participativos e formações de gestores.

8. O oitavo é o **princípio da governança**. Plataformas públicas exigem equipe, financiamento, documentação, manutenção, atualização e pactuação institucional.

9. O nono é o **princípio da interoperabilidade e escalabilidade**. O WebSIG deve ser capaz de crescer, incorporar novas camadas, dialogar com outros sistemas e manter-se tecnicamente sustentável.

10. O décimo é o **princípio da orientação à ação**. O mapa deve conduzir ao diagnóstico; o diagnóstico, ao plano; o plano, ao monitoramento; e o monitoramento, à revisão das políticas.

O **Quadro 26** sintetiza a essência de um WebSIG voltado à justiça social, ao planejamento urbano e à democracia. Estes 10 princípios finais funcionam como um guia ético, técnico e político para o desenvolvimento e a governança de plataformas de geoinformação no século XXI. Juntos, esses dez pontos transformam o WebSIG de um mero visualizador de dados espaciais em uma verdadeira **infraestrutura pública e democrática**, capaz de equilibrar o rigor técnico (Princípio 9) com a emancipação social e a transformação do território (Princípios 6 e 10).

Quadro 26 - 10 princípios finais

#	Princípio	Foco Central (O que defende)	Desdobramento Prático na Plataforma	Objetivo Maior (O impacto gerado)
1	**Finalidade Pública**	A plataforma deve nascer e se estruturar a partir de demandas e problemas sociais e ambientais reais do território.	Foco em camadas e dados sobre adaptação climática, desigualdades socioambientais, risco de enchentes e justiça territorial.	Evitar o fetiche tecnológico, garantindo que o sistema sirva estritamente ao interesse coletivo e ao monitoramento de políticas.
2	**Transparência Metodológica**	O sistema deve ser aberto ao escrutínio público, permitindo que qualquer usuário entenda a origem da informação.	Publicação explícita de fontes, escalas, períodos de coleta, limitações técnicas e incertezas dos dados.	Garantir a confiabilidade, auditabilidade e o caráter científico e público do WebSIG.
3	**Inteligibilidade**	A barreira técnica do geoprocessamento deve ser quebrada para incluir os cidadãos não especialistas.	Uso de linguagem simples, interfaces intuitivas, glossários integrados, tutoriais e recursos pedagógicos.	Democratizar o acesso cognitivo, permitindo que qualquer cidadão compreenda e use os mapas.
4	**Criticidade**	O reconhecimento de que o mapa não é o território, combatendo a falsa ilusão de neutralidade da cartografia.	Alertas textuais e notas que lembram que mapas e indicadores são recortes e representações parciais da realidade.	Evitar a reificação geográfica, mantendo os gestores e usuários cientes das limitações e nuances do espaço real.
5	**Justiça Territorial**	Os dados devem servir como ferramenta de diagnóstico e combate às desigualdades estruturais nas cidades.	Cruzamento de dados ambientais com indicadores socioeconômicos para evidenciar o racismo ambiental e as vulnerabilidades.	Subsidiar e orientar políticas públicas de reparação e investimentos focados nas áreas mais vulneráveis.
6	**Participação**	A superação do modelo onde o cidadão é mero espectador ou consumidor passivo de dados geográficos.	Ferramentas de mapeamento colaborativo (VGI), canais de denúncia, validação local e inserção de demandas (Goodchild, 2007).	Transformar a comunidade em sujeito ativo na produção de conhecimento e no controle social do território.
7	**Educação Territorial**	O WebSIG como um agente pedagógico de transformação cultural e formação cidadã.	Integração com currículos escolares, desenvolvimento de cartilhas didáticas, oficinas e cursos para gestores municipais.	Formar leitores críticos do espaço, capacitando a sociedade a interpretar e agir sobre sua própria realidade.
8	**Governança**	A sobrevivência de um WebSIG público depende de arranjos institucionais e sustentabilidade política.	Planejamento de orçamento contínuo, estruturação de equipe técnica fixa, documentação rigorosa e pactuação entre órgãos.	Impedir o abandono da plataforma, garantindo sua continuidade e atualização mesmo após trocas de gestão política.
9	**Interoperabilidade e Escalabilidade**	A infraestrutura técnica deve ser flexível para acompanhar as inovações e as demandas de crescimento.	Adoção de padrões abertos (OGC), APIs documentadas, bancos de dados espaciais robustos e arquitetura em nuvem sustentável.	Permitir que o sistema cresça organicamente e dialogue perfeitamente com outros sistemas de informação do Estado.
10	**Orientação à Ação**	O mapa não é o ponto final, mas o ponto de partida para a transformação concreta do espaço urbano.	Conexão direta entre o mapa (diagnóstico), os documentos de planejamento (planos climáticos/diretores) e painéis de monitoramento.	Fechar o ciclo da política pública: mover o usuário do diagnóstico ao plano, do plano ao monitoramento, e deste à revisão das ações.

7. O WebSIG não substitui a política

A defesa de um WebSIG social, público e crítico não deve levar ao tecnocratismo. Nenhuma plataforma substitui a política. Mapas, indicadores e diagnósticos podem revelar problemas, orientar prioridades e qualificar debates, mas a transformação do território depende de instituições, orçamento, legislação, participação, conflito democrático e responsabilidade pública. A geoinformação deve fortalecer a deliberação, não simular neutralidade técnica diante das disputas sociais (quadro 27).

Quadro 27 - Mapa orienta, política decide

Dimensão	O Papel do WebSIG (Mapa/Técnica) - Orienta -	O Papel da Ação Pública (Política/Instituições) - Decide -
Finalidade Principal	**Revelar** problemas socioterritoriais, **orientar** a definição de prioridades e **qualificar** os debates públicos.	**Decidir** e implementar soluções, **resolver** desigualdades e assumir a **responsabilidade** pelas escolhas feitas.
Contribuição Democrática	Ampliar a **transparência** e a capacidade social de compreender o território (cidadania territorial).	Conduzir o **conflito democrático**, garantir a **participação** social e editar legislação pertinente.
Meios e Recursos	Geoinformação, indicadores, plataformas interativas e análise espacial.	Instituições fortes, orçamento público, legislação e legitimidade política.
Caráter daTécnica (Milton Santos)	Não é neutra. Pode servir à dominação (vigilância/controle) ou abrir possibilidades de **usos contra-hegemônicos**.	Não deve ser tecnocrática. A política deve **apropriar-se socialmente** da técnica para fins éticos e públicos.
Risco e Alerta	Tornar-se um fim em si mesma, servindo ao tecnocratismo, à valorização imobiliária ou a remoções.	Imaginar que a técnica substitui a política ou que indicadores decidem sozinhos, eximindo a gestão da responsabilidade.
Síntese da Relação	O WebSIG é um **instrumento de suporte**, uma ferramenta que "lê" o espaço.	A política é o **agente de transformação**, o poder que "age" sobre o espaço.

8. Por uma inteligência territorial democrática

A expressão “inteligência territorial” não deve ser entendida como simples acúmulo de dados ou sofisticação computacional. Inteligente não é a plataforma que apenas processa mais rápido, armazena mais camadas ou produz mapas mais bonitos. Inteligente é a plataforma que ajuda a sociedade a formular melhores perguntas sobre o território.

Onde estão as desigualdades? Quem é mais vulnerável? Quais áreas devem ser priorizadas? Que políticas produzem justiça ambiental? Que ações reduzem exposição climática? Como avaliar se o planejamento está funcionando? Como transformar dados em direitos? Essas são perguntas de inteligência territorial democrática.

O WebSIG social, público e crítico deve contribuir para responder a essas perguntas sem pretender encerrá-las. Deve abrir o debate, não fechá-lo. Deve produzir evidências, não verdades absolutas. Deve apoiar decisões, não substituir a deliberação. Deve aproximar ciência e sociedade, universidade e gestão pública, dados e cidadania.

Em um contexto de crise climática, desigualdades urbanas e disputa pelo uso do território, democratizar a leitura espacial torna-se parte da luta por cidades mais justas. O direito à cidade passa também pelo direito à informação territorial: saber onde estão os problemas, compreender sua distribuição, reconhecer os grupos afetados, discutir prioridades e acompanhar políticas públicas (figura 119).

Figura 119 - Cidade, dados, pessoas, vegetação, rios e redes em equilíbrio



9. Considerações finais

Concluir este livro é afirmar que o WebSIG do século XXI está em disputa. Ele pode permanecer como interface sofisticada de visualização espacial, voltada à eficiência técnica e à circulação superficial de mapas, ou pode se tornar tecnologia pública de leitura crítica do território, orientada à justiça socioambiental, à educação, à participação e ao planejamento democrático.

A aposta deste livro é pela segunda possibilidade. Um WebSIG social, público e crítico não é apenas uma inovação tecnológica; é uma infraestrutura de mediação entre dados, território e ação coletiva. Sua finalidade é transformar informação espacial em compreensão pública, compreensão em decisão democrática e decisão em justiça territorial.

A UrbVerde mostra que esse caminho é possível, ainda que sempre inacabado. Conhecer melhor o território não resolve, por si só, suas desigualdades, mas amplia as condições para enfrentá-las de forma mais justa, coletiva e consciente. É nesse horizonte que o WebSIG do século XXI deve ser construído.

Referências bibliográficas

ACSELRAD, Henri; MELLO, Cecília Campello do Amaral; BEZERRA, Gustavo das Neves. **O que é justiça ambiental**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. *Geografia*, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2003.

COSTA, Marcela Fernandes da; FANTIN, Marcel (org.). **Do mapa à ação: Guia UrbVerde para Planos Locais de Ação Climática**. São Carlos: IAU/USP, 2026. DOI: 10.11606/9788566624588.

COSTA, Marcela Fernandes da et al. (org.). **UrbVerde na escola**. São Carlos: IAU/USP, 2024. DOI: 10.11606/9788566624427.

ELWOOD, Sarah; GOODCHILD, Michael F.; SUI, Daniel Z. **Researching volunteered geographic information: spatial data, geographic research, and new social practice**. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 102, n. 3, p. 571-590, 2012.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GOODCHILD, Michael F. **Citizens as sensors: the world of volunteered geography**. *GeoJournal*, v. 69, n. 4, p. 211-221, 2007.

LACERDA, Vitor Antonio de Almeida. **Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva da Interação Humano-Computador**. Monografia de conclusão de curso - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

NORMAN, Donald A. **The Design of Everyday Things**. Revised and expanded edition. New York: Basic Books, 2013.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.